

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СМИК ІРИНА ЄВГЕНІВНА

УДК: 622.692.4.053

ДИСЕРТАЦІЯ
ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТУРИСТИЧНОГО
НАВАНТАЖЕННЯ ГРОМАД ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

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

_____ І.Є. Смик

Науковий керівник **Архипова Людмила Миколаївна**, доктор технічних наук, професор

Івано-Франківськ – 2026

АНОТАЦІЯ

Смик І.Є. Екологічне оцінювання туристичного навантаження громад Івано-Франківської області.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 «Екологія» - Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2026.

Роботу виконано на кафедрі екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Міністерства освіти і науки України. З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Дисертаційне дослідження присвячено науково-методичному обґрунтуванню підходів до екологічного оцінювання туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області як складової забезпечення екологічної безпеки використання природно-рекреаційного потенціалу регіону. У роботі виходять із того, що інтенсивний розвиток туристичної діяльності у гірських територіях супроводжується просторово диференційованим антропогенним впливом на природне середовище, який не може бути адекватно оцінений за допомогою традиційних описових або галузевих підходів. У зв'язку з цим обґрунтовано необхідність переходу до просторово орієнтованого кількісного аналізу туристичного навантаження на рівні територіальних громад як базових адміністративно-управлінських одиниць розвитку туризму та охорони довкілля.

У результаті аналізу наукових джерел встановлено, що більшість досліджень взаємозв'язку туризму та стану довкілля зосереджені на окремих компонентах природного середовища або локальних об'єктах рекреаційного використання і не забезпечують комплексного розуміння просторових закономірностей екологічного навантаження. Показано, що відсутність нормування екологічних і туристичних показників на площу територій, а також

ігнорування часової послідовності впливів призводять до методичних обмежень при міжтериторіальних порівняннях. З урахуванням цього в дисертації запропоновано підхід до екологічного оцінювання туристичного навантаження, який поєднує геоінформаційний аналіз, картографічне моделювання та статистичну перевірку гіпотез.

У роботі встановлено, що туристичне навантаження в Івано-Франківській області характеризується чітко вираженою просторовою диференціацією між громадами рекреаційного профілю та індустріально-урбанізованими центрами. За результатами геоінформаційного аналізу побудовано карти просторового розподілу туристичних потоків, питомого водокористування, скидів у водні об'єкти та показників якості атмосферного повітря, що дозволило ідентифікувати локальні зони підвищеного екологічного ризику. Картографічні моделі використано як аналітичний інструмент для просторової інтерпретації екологічного навантаження та формування дослідницьких гіпотез.

Статистичний аналіз підтвердив наявність причинно-наслідкового зв'язку між туристичним навантаженням попереднього періоду та подальшим зростанням водокористування і скидів у водні об'єкти на рівні територіальних громад. Встановлено, що інтерквартильне збільшення інтенсивності туристичних потоків супроводжується підвищенням питомого водоспоживання, тоді як вплив туристичної діяльності на показники забруднення атмосферного повітря та утворення твердих побутових відходів є статистично незначущим і формується переважно за рахунок індустріальних та комунальних джерел. Аналіз зворотного напрямку взаємозв'язку не підтвердив статистично значущого впливу агрегованих екологічних показників на інтенсивність туристичних потоків, що свідчить про домінування економічних, інфраструктурних і подієвих факторів у формуванні туристичного попиту.

Окремий блок дослідження присвячено аналізу кліматичних та гідроекологічних умов функціонування туристичних територій. Побудовано регресійні моделі взаємозв'язку між кліматичними параметрами та потенціалом використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, що

підтверджує функціональну залежність між температурним режимом, кількістю опадів і виробництвом електроенергії. Розроблено математичну модель самоочищення річки Прут у зоні туристичного впливу, яка описує зміну мінералізації води вздовж русла після зони турбулентного перемішування та відображає закономірності відновлення гідрохімічної рівноваги водотоку.

У дисертації обґрунтовано підхід до формування просторово організованої системи екологічного моніторингу туристичних територій. Показано, що існуюча мережа спостережень за станом атмосферного повітря не забезпечує належного охоплення курортних громад і не дозволяє фіксувати пікові рекреаційні навантаження. Запропоновано методологію оптимізації розміщення пунктів моніторингу, яка передбачає поєднання референтних станцій із мережею низьковартісних сенсорів та вибір локацій на основі геопросторової кластеризації туристичних об'єктів і інфраструктури розміщення, що дозволяє інтегрувати екологічні дані у систему управління туристичними потоками та підвищити ефективність оцінювання екологічної безпеки туристичних територій.

Зроблено висновок, що екологічне оцінювання туристичного навантаження слід розглядати як просторово-динамічний процес, який поєднує картографічне моделювання, статистичну перевірку причинно-наслідкових зв'язків і систему екологічного моніторингу. Застосування комплексного підходу дозволяє виявляти території підвищеного екологічного ризику, прогнозувати наслідки зростання туристичних потоків та обґрунтовувати управлінські рішення щодо сталого використання природно-рекреаційного потенціалу територіальних громад.

Отримані результати формують наукове підґрунтя для вдосконалення методів просторового екологічного оцінювання туристичного навантаження та можуть бути використані при розробленні регіональних стратегій сталого розвитку туризму, плануванні систем екологічного моніторингу та забезпеченні екологічної безпеки територіальних громад Івано-Франківської області.

Ключові слова: екологічне оцінювання, туристичне навантаження, територіальні громади, екологічна безпека, сталий розвиток туризму, туризм, просторовий аналіз, картографічне моделювання, ГІС, перевірка статистичних гіпотез, водокористування, забруднення атмосферного повітря, екологічний моніторинг, Івано-Франківська область, екологізація, екотуризм, інфраструктура, оцінка, об'єкти інфраструктури, картографія, техногенний вплив, польові дослідження, природні ресурси, промислові підприємства, державне регулювання, кластер, рекреаційні зони, забруднення, адміністративні райони, гірські території, екологічний стан, атмосферне повітря, поверхневі води, екосистема, гідросфера, якість води, антропогенний вплив, математична модель, водні ресурси.

ABSTRACT

Smyk I. Environmental assessment of tourism pressure on communities of Ivano-Frankivsk Oblast.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in Specialty 101 “Ecology”. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2026.

The dissertation research is devoted to the scientific and methodological substantiation of approaches to the ecological assessment of the tourist load of territorial communities of Ivano-Frankivsk region as a component of ensuring the ecological safety of the use of the natural and recreational potential of the region. The work proceeds from the fact that the intensive development of tourist activity in mountainous areas is accompanied by spatially differentiated anthropogenic impact on the natural environment, which cannot be adequately assessed using traditional descriptive or sectoral approaches. In this regard, the need to transition to a spatially oriented quantitative analysis of the tourist load at the level of territorial communities as basic administrative and management units of tourism development and environmental protection is justified. As a result of the analysis of scientific sources, it was established that most studies of the relationship between tourism and the state of the environment are focused on individual components of the natural environment or local objects of recreational use and do not provide a comprehensive understanding of the spatial patterns of environmental load. It is shown that the lack of normalization of environmental and tourist indicators by the area of territories, as well as ignoring the time sequence of impacts, lead to methodological limitations in inter-territorial comparisons. Taking this into account, the dissertation proposes an approach to the ecological assessment of tourist load, which combines geoinformation analysis, cartographic modeling and statistical testing of hypotheses.

The work establishes that the tourist load in the Ivano-Frankivsk region is characterized by a clearly expressed spatial differentiation between communities of a recreational profile and industrial-urbanized centers. Based on the results of geoinformation analysis, maps of the spatial distribution of tourist flows, specific water

use, discharges into water bodies and indicators of atmospheric air quality were constructed, which allowed identifying local areas of increased environmental risk. Cartographic models were used as an analytical tool for spatial interpretation of environmental load and formation of research hypotheses.

Statistical analysis confirmed the existence of a causal relationship between the tourist load of the previous period and the subsequent increase in water use and discharges into water bodies at the level of territorial communities. It was found that the interquartile increase in the intensity of tourist flows is accompanied by an increase in specific water consumption, while the impact of tourist activity on air pollution indicators and solid waste generation is statistically insignificant and is formed mainly due to industrial and municipal sources. Analysis of the reverse direction of the relationship did not confirm a statistically significant impact of aggregated environmental indicators on the intensity of tourist flows, which indicates the dominance of economic, infrastructure and event factors in the formation of tourist demand.

A separate block of the study is devoted to the analysis of climatic and hydroecological conditions for the functioning of tourist areas. Regression models of the relationship between climatic parameters and the potential for the use of renewable energy sources, in particular solar energy, have been constructed, which confirms the functional dependence between the temperature regime, the amount of precipitation and electricity production. A mathematical model of the self-purification of the Prut River in the zone of tourist influence has been developed, which describes the change in water mineralization along the channel after the turbulent mixing zone and reflects the regularities of the restoration of the hydrochemical equilibrium of the water flow. The dissertation substantiates the approach to the formation of a spatially organized system of environmental monitoring of tourist areas. It is shown that the existing network of observations of the state of atmospheric air does not provide adequate coverage of resort communities and does not allow recording peak recreational loads. A methodology for optimizing the placement of monitoring points is proposed, which involves combining reference stations with a network of low-cost sensors and selecting

locations based on geospatial clustering of tourist facilities and accommodation infrastructure, which allows integrating environmental data into the tourist flow management system and increasing the efficiency of assessing the environmental safety of tourist areas.

It is concluded that the environmental assessment of tourist load should be considered as a spatial-dynamic process that combines cartographic modeling, statistical verification of cause-and-effect relationships and an environmental monitoring system. The use of an integrated approach allows identifying areas of increased environmental risk, predicting the consequences of increasing tourist flows and justifying management decisions regarding the sustainable use of the natural and recreational potential of territorial communities.

The results obtained form a scientific basis for improving methods of spatial environmental assessment of tourist load and can be used in the development of regional strategies for sustainable tourism development, planning of environmental monitoring systems and ensuring environmental safety of territorial communities of Ivano-Frankivsk region.

Keywords: environmental assessment, tourist load, territorial communities, environmental safety, sustainable tourism development, tourism, spatial analysis, cartographic modeling, GIS, statistical hypothesis testing, water use, atmospheric air pollution, ecological monitoring, Ivano-Frankivsk region, greening, ecotourism, infrastructure, assessment, infrastructure facilities, cartography, man-made impact, field research, natural resources, industrial enterprises, state regulation, cluster, recreational zones, pollution, administrative districts, mountainous areas, ecological state, atmospheric air, surface water, ecosystem, hydrosphere, water quality, anthropogenic impact, mathematical model, water resources.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. **Smyk I., Arkhyrova L.** Analysis of Electricity Use in the Tourism Sector of Ivano-Frankivsk Region // *Carpathian Journal of Electrical Engineering*. 2022. Vol. 16, No. 1. P. 174–184. (**Фахове іноземне видання**). Здобувач здійснила збір і аналіз статистичних даних щодо енергоспоживання туристичного сектору Івано-Франківської області, виконала інтерпретацію одержаних результатів; Л. Архипова долучилася до наукового консультування, обговорення результатів та редакційного опрацювання матеріалу.

2. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Аналіз впливу метеорологічних умов на ефективність роботи сонячних панелей в Івано-Франківській області // *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2023. Т. 14, № 1(27). С. 99–107. (**Наукове фахове видання України, індексується у Scopus**). Здобувач провела аналіз метеорологічних показників та оцінила вплив кліматичних факторів на ефективність роботи сонячних панелей; Л. М. Архипова здійснювала методичний супровід дослідження та брала участь в обговоренні результатів.

3. **Smyk I.** Assessment of the Environmental State of Tourist Resources in the Ivano-Frankivsk Region // *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2023. Vol. 14, No. 2. P. 74–85. (**Наукове фахове видання України, індексується у Scopus**). Здобувач самостійно провела оцінювання екологічного стану туристичних ресурсів Івано-Франківської області, узагальнила результати дослідження та сформулювала наукові висновки.

4. **Smyk I., Arkhyrova L.** Research on Air Pollution by Fine Particles in Tourist Locations in the Ivano-Frankivsk Region // *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 21, No. 3. P. 62–75. DOI: 10.31548/dopovid/3.2025.62. (**Наукове фахове видання України**). Здобувач проаналізувала забруднення атмосферного повітря дрібнодисперсними

частинками, визначила основні джерела антропогенного впливу та здійснила інтерпретацію результатів; Л. Архипова брала участь у науковому редагуванні й обговоренні висновків.

5. **Smyk I., Arkhypova L. M.** Environmental Assessment of Water Resources in the Tourist Zones of Ivano-Frankivsk Region: A Case Study // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26, No. 9. P. 263–277. DOI: 10.12912/27197050/209739. **(Фахове іноземне видання, індексується у Scopus, Q3)**. Здобувач виконала оцінювання якості водних ресурсів та аналіз впливу туристичної діяльності на водні об'єкти; Л. М. Архипова долучилася до обговорення результатів і методичного супроводу дослідження.

6. **Smyk I., Arkhypova L. M.** Spatial Modeling of Tourism-Related Environmental Load on Communities Using the Example of Ivano-Frankivsk Region of Ukraine // *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27, No. 2. P. 357–373. DOI: 10.12912/27197050/217605. **(Фахове іноземне видання, індексується у Scopus, Q3)**. Здобувач здійснила просторове моделювання екологічного навантаження туристичної діяльності із застосуванням геоінформаційних технологій, виконала аналіз просторових закономірностей та узагальнила результати; Л. М. Архипова брала участь у верифікації результатів та науковому консультуванні.

7. **Смик І., Архипова Л.** Formation of a Regional System for Environmental Monitoring of Atmospheric Air in Tourist Destinations // *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2026. Т. 22, № 1. С. 66–86. DOI: 10.31548/dopovidi/1.2026.66. **(Наукове фахове видання України)**. Здобувач обґрунтувала підходи до формування регіональної системи екологічного моніторингу атмосферного повітря у туристичних дестинаціях, визначила її структурні компоненти та сформулювала практичні рекомендації; Л. М. Архипова здійснювала методичний супровід і брала участь у редакційному опрацюванні статті.

8. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Імперативи сталого розвитку туризму на Прикарпатті // *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування:*

науково-технічний журнал. Івано-Франківськ, 2016. № 2(14). С. 190–195.

Здобувач проаналізувала імперативи сталого розвитку туризму на Прикарпатті, визначила основні екологічні та ресурсні обмеження розвитку туристичної сфери регіону, узагальнила підходи до поєднання туристичної діяльності з вимогами збалансованого природокористування; Л. М. Архипова брала участь у науковому консультуванні, обговоренні результатів та редакційному опрацюванні матеріалу.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Екологічні ризики безпеки енергетики // *Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля»*. Івано-Франківськ – Бая-Маре, 2022. С. 12–17.
2. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Використання зелених технологій для оптимізації водопостачання в туристичних районах Івано-Франківської області // *V Міжнародна науково-технічна конференція «Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг»*. Львів, 11–13 жовтня 2023. С. 49–50.
3. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Роль сталого розвитку в забезпеченні екологічної безпеки туристичної галузі // *VI Міжнародна науково-практична конференція «Екологічний стан навколишнього середовища та раціональне природокористування в контексті сталого розвитку»*. Херсон, 26–27 жовтня 2023. С. 174–176.
4. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Світові тенденції впровадження відновлюваних джерел енергії та їх вплив на екологічну безпеку в туристичному секторі // *Екологічна безпека держави: тези доповідей XVII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*. Київ, 20 квітня 2023. С. 37–38.
5. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Аналіз використання електроенергії туристичним сектором Івано-Франківської області // *Матеріали міжнародної*

науково-практичної конференції «Сталий розвиток економіки, суспільства та підприємництва». Івано-Франківськ, 27–28 квітня 2023. С. 555–558.

6. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Перспективи та виклики інтеграції відновлюваних джерел енергії в туристичний сектор Івано-Франківської області // *Збірник наукових праць Міжнародної Карпатської школи: зимова сесія, 21–25 лютого 2024*. Косів: НТШ, 2024. С. 253–256.

7. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Аналіз екологічної стійкості Івано-Франківської області // *IX Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*. Львів, 28–29 березня 2024. С. 246.

8. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Виклики та перспективи забезпечення екологічної безпеки розвитку туризму в Івано-Франківській області // *IX Міжнародний з'їзд екологів*. Вінниця, 25–27 вересня 2024. С. 271–274. ISBN 978-617-8163-22-8.

9. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Екологічні ризики розвитку туризму в Івано-Франківській області та шляхи їх мінімізації // *VIII Міжнародний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування»*. Львів, 16–18 жовтня 2024. С. 222–224. ISBN 978-617-8285-40-1.

10. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Основні принципи екологічної безпеки в туристичній галузі під час війни // *Міжнародна науково-теоретична та прикладна конференція «Відновлення екосистем, які постраждали внаслідок воєнних дій»*. Київ, 6 листопада 2024. С. 127–132.

11. **Архипова Л. М., Кравченко В. Ю., Смик І. Є.** Культурна активність молоді як чинник збереження традицій Карпатського регіону // *Збірник наукових праць Міжнародної Карпатської школи: весняна сесія (1–5 травня 2025 року)*. Яремче–Косів: Наукове товариство імені Шевченка, 2025. С. 73–77.

12. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Досвід Польщі у забезпеченні екологічної безпеки в рамках європейської інтеграції: перспективи для України

// Стратегії та політики ЄС: інституційна структура та механізми реалізації: матеріали II науково-практичної конференції (20–21 березня 2025 року). Кривий Ріг: Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського Криворізького національного університету, 2025. С. 109–112.

13. **Смик І. Є.** Впровадження системи екологічного менеджменту в туристичній діяльності: перспективи для України *// Екологічна безпека держави: тези доповідей XVIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів* (м. Київ, 18 квітня 2025 р.). Київ, 2025. С. 94. DOI: 10.18372/2786-8168.19.19988.

14. **Смик І. Є.** Розвиток зеленого туризму в Прикарпатті: проблеми та перспективи *// Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи: збірник наукових праць* (за матеріалами щорічної наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої пам'яті професора Г. П. Дубинського; 10 квітня 2025 року, м. Харків). Вип. 17. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2025. С. 157–159.

15. **Смик І. Є., Архипова Л. М.** Європейські практики екологічного моніторингу у сфері туризму *// Трансформаційні підходи до сталого розвитку: екологічна освіта, наука та природоохоронні практики для відбудови України : тези Міжнародної науково-практичної конференції, 22–26 вересня 2025 р.* Житомир: Житомирська політехніка, 2025. С. 90–92.

16. **Смик І. Є.** Екологічна освіта населення і туристів як чинник сталого розвитку регіонів Карпат *// Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті європейської інтеграції України : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф.* Харків, 12 листопада 2025 р. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. С. 190–192.

17. **Смик І.** Якість атмосферного повітря у туристичних регіонах у контексті європейського досвіду та українських викликів *// Проблеми забезпечення інформаційної безпеки в міжнародному співробітництві : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф.* (5 верес. 2025 р.). Ужгород, 2025. С. 219–227.

18. **Смик І., Архипова Л. М.** Екологічні ризики формування побутових відходів в Івано-Франківській області (за 2019–2024 рр.) // *Матеріали Регіональної конференції «Молодіжний екогеофорум – 2025»* (19–20 листопада 2025 р., м. Івано-Франківськ). Івано-Франківськ, 2025. С. 76–78.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТУРИСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД.....	25
1.1. Поняття та сутність екологічної оцінки у контексті туристичного навантаження територій.....	25
1.2. Взаємозв'язок рекреаційного навантаження та екологічної оцінки у сучасних наукових дослідженнях.....	36
1.3. Нормативно-правові засади забезпечення екологічної безпеки туристичної діяльності: національний, міжнародний та європейський виміри.....	45
1.4. Роль територіальних громад у забезпеченні екологічної безпеки туристичної діяльності.....	54
Висновки до розділу 1.....	63
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	66
2.1. Програма та структура дослідження.....	66
2.2. Методи гідрохімічної оцінки якості водних ресурсів.....	69
2.3. Методи аналізу атмосферного повітря та дрібнодисперсних частинок.....	72
2.4. Статистичні та картографічні методи аналізу.....	77
Висновки до розділу 2.....	81
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ТУРИСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	85
3.1. Метеорологічні й кліматичні фактори інфраструктурної стійкості.....	85
3.2. Екологічне оцінювання впливу туристичного навантаження на якість атмосферного повітря.....	93
3.3. Екологічне оцінювання впливу туристичного навантаження на якість водних ресурсів.....	98
Висновки до розділу 3.....	108

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ РОЗВИТКУ ТУРИСТИЧНОЇ СФЕРИ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД ІВАНО- ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	111
4.1. Просторово-функціональний профіль територіальних громад області: туристичний попит та екологічні навантаження.....	111
4.2. Оцінка екологічного навантаження суб'єктів туристичної галузі у територіальних громадах Івано-Франківської області	128
4.3. Результати перевірки статистичних гіпотез взаємовпливу туристичного навантаження та екологічного стану територій.....	147
Висновки до розділу 4.....	160
РОЗДІЛ 5. ФОРМУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ТУРИЗМУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД.....	163
5.1. Екологічний моніторинг довкілля як чинник управління екологічною безпекою туристичного навантаження територіальних громад.....	163
5.2. Оптимізація системи моніторингу якості атмосферного повітря у територіальних громадах.....	174
Висновки до розділу 5.....	198
ВИСНОВКИ.....	200
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	206
ДОДАТКИ.....	229

ВСТУП

Актуальність дослідження. Туристична діяльність у Карпатському регіоні України на сучасному етапі перетворилася на один із пріоритетних чинників соціально-економічного розвитку територіальних громад Івано-Франківської області. Водночас зростання інтенсивності туристичних потоків, сезонна концентрація відвідувачів у гірських долинах, трансформація структури землекористування та підвищене навантаження на інженерну інфраструктуру формують комплекс екологічних ризиків, що безпосередньо впливають на водні ресурси, атмосферне повітря та стійкість природно-рекреаційних систем громад. У зазначених умовах екологічне оцінювання туристичного навантаження набуває стратегічного значення як інструмент обґрунтування управлінських рішень на місцевому та регіональному рівнях.

Особливу наукову й прикладну актуальність має перехід від узагальненого аналізу туристичного розвитку регіонів до просторово диференційованого оцінювання навантаження на рівні територіальних громад. Адміністративно-територіальна реформа та посилення ролі органів місцевого самоврядування актуалізували потребу у даних, які дозволяють співвідносити масштаби туристичної активності з екологічною ємністю конкретних громад, а не лише з показниками області загалом. Відсутність картографічно деталізованих оцінок призводить до того, що локальні «гарячі зони» туристичного навантаження залишаються поза увагою стратегічного планування, а екологічні ризики накопичуються до критичних значень.

Наукова проблема посилюється фрагментованістю наявних систем екологічного моніторингу. Офіційна державна статистика зосереджена переважно на стаціонарних джерелах забруднення та річних агрегованих показниках, що не відображають короткочасні пікові навантаження, характерні для туристичних територій. В умовах гірського рельєфу та складної орографії Карпат особливого значення набувають просторові фактори - долинна структура розселення, температурні інверсії, вітрові коридори, які зумовлюють

нерівномірний розподіл забруднювальних речовин і спотворюють інтерпретацію усереднених даних. Відтак науково обґрунтована система моніторингу, орієнтована на туристичні кластери та громади, стає необхідною передумовою достовірного екологічного оцінювання.

Актуальність дослідження підсилюється потребою формулювання та емпіричної перевірки гіпотез щодо причинно-наслідкових зв'язків між туристичним навантаженням і станом довкілля. У наявних роботах переважають описові підходи або макрорівневі оцінки, тоді як кількісна перевірка гіпотез на основі просторових моделей і картографічного аналізу застосовується обмежено. Використання нормованих показників на одиницю площі громад, поєднання математичних моделей із геоінформаційними інструментами та побудова тематичних карт навантаження дозволяють перейти від декларативних тверджень до доказового аналізу, придатного для практичного управління.

Додатковим чинником актуальності виступає євроінтеграційний вектор екологічної політики України. Наближення до стандартів Європейського Союзу у сфері охорони довкілля передбачає впровадження просторово репрезентативних систем моніторингу, відкритість екологічних даних, а також використання карт як одного з основних інструментів відображення просторового розподілу екологічних ризиків.

Таким чином, актуальність дисертаційного дослідження визначається необхідністю комплексного екологічного оцінювання туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області на основі просторових даних, картографічного аналізу, формалізованих гіпотез і оптимізованих систем моніторингу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконано відповідно до пріоритетних напрямів державної екологічної політики України, визначених Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», які акцентують на впровадженні комплексних механізмів охорони навколишнього природного середовища, розвитку системи моніторингу

довкілля та гармонізації національних стандартів управління природними ресурсами з нормами Європейського Союзу. Тематика дисертації узгоджена з концептуальними положеннями Стратегії сталого розвитку України та принципами імплементації європейських екологічних директив, зокрема Водної рамкової директиви 2000/60/ЄС, Директиви про якість атмосферного повітря 2008/50/ЄС та Директиви INSPIRE щодо інфраструктури просторових даних.

Дослідження також пов'язане з виконанням науково-дослідної роботи «Дослідження водозабезпечення паркового джерела та надання рекомендацій щодо подальшого використання» (НДР 63/2025), у межах якої опрацьовувалися питання екологічного оцінювання стану природних ресурсів, моніторингу довкілля та вироблення практичних рекомендацій щодо їх раціонального використання. Окремі положення дисертаційного дослідження узгоджуються із завданнями міжнародного проєкту HUSKROUA/1901/3.1/0005 «Валоризація історико-культурної спадщини шляхом розвитку та просування Карпатського культурного маршруту», що реалізовувався в рамках Програми транскордонного співробітництва ЄІС Угорщина–Словаччина–Румунія–Україна є 2021-2023 рр., зокрема в частині просторового аналізу туристичних територій, оцінювання екологічних чинників розвитку дестинацій та обґрунтування засад збалансованого використання природно-рекреаційного потенціалу Карпатського регіону.

Метою дисертаційного дослідження є екологічне оцінювання туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області з використанням методів просторової оцінки та моделювання впливу туристичної діяльності на стан довкілля з метою забезпечення екологічної безпеки регіону.

Об'єктом дослідження є туристичне навантаження на природне середовище територіальних громад Івано-Франківської області.

Предметом дослідження є просторові закономірності та екологічні наслідки впливу туристичного навантаження на компоненти довкілля територіальних громад Івано-Франківської області.

Відповідно до мети дисертаційного дослідження для її досягнення було поставлено **такі завдання:**

1. Проаналізувати теоретико-методологічні підходи до оцінювання туристичного навантаження та визначити його взаємозв'язок зі станом природного середовища і забезпеченням екологічної безпеки територіальних громад.

2. Дослідити просторову структуру туристичної діяльності в Івано-Франківській області та визначити особливості формування туристичного навантаження на рівні територіальних громад.

3. Оцінити вплив туристичного навантаження на стан компонентів довкілля (водні ресурси, атмосферне повітря, утворення відходів) у межах територіальних громад Івано-Франківської області.

4. Розробити підхід до просторового екологічного оцінювання туристичного навантаження із використанням геоінформаційного аналізу, картографічного моделювання та статистичної перевірки гіпотез на основі статистичних даних.

5. Обґрунтувати принципи формування просторово організованої системи екологічного моніторингу туристичних територій та визначити можливості використання її результатів для забезпечення екологічної безпеки і сталого розвитку територіальних громад Івано-Франківської області.

Методичну основу дослідження становлять комплекс взаємодоповнювальних підходів і методів, що забезпечують цілісну екологічну оцінку туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області. У роботі застосовано просторово-аналітичні методи (картографування, ГІС-аналіз, геопросторову кластеризацію туристичних об'єктів) для ідентифікації зон концентрації туристичної активності та екологічних ризиків; методи екологічного моніторингу й інструментальних вимірювань якості водних і повітряних компонентів довкілля; методи просторово-часового аналізу; статистичні методи нормування показників на площу громад для забезпечення порівнянності; методи візуалізації та інтерпретації результатів у вигляді

тематичних карт і аналітичних графіків. Сукупне використання зазначених методів забезпечує відтворюваність результатів, наукову обґрунтованість висновків і можливість їх застосування у практиці забезпечення екологічної безпеки туристичного розвитку громад.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Вперше проведено просторове оцінювання впливу туристичної діяльності на довкілля (викиди в повітря, забір і скиди води, розміщення відходів), нормоване на площу територіальних громад Івано-Франківської області, яке забезпечує просторову діагностику екологічного стану громад, оцінку екологічних ризиків та в динаміці стане аналітичним інструментом стратегічного планування розвитку на місцевому рівні. Система апробована на прикладі порівняння інтенсивності водоспоживання, викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря, скидів у водне середовище та розміщення ТПВ туристичним сектором кожної громади Івано-Франківської області, що дозволяє використання її як аналітичного інструменту екологічної безпеки використання туристичного потенціалу будь-якої території.

2. Запропоновано наукові гіпотези щодо взаємозв'язку туристичного навантаження та стану компонентів довкілля територіальних громад, які передбачають наявність причинно-наслідкової залежності між інтенсивністю туристичних потоків і змінами показників використання природних ресурсів, а також можливий зворотний вплив екологічного стану території на динаміку туристичної активності. Запропоновані гіпотези можуть бути використані як теоретична основа для подальших досліджень екологічних наслідків туристичної діяльності та вдосконалення методів оцінювання туристичного навантаження.

3. Вперше обґрунтовано геопросторову систему оптимізації регіональної мережі моніторингу туристичних DESTINAЦІЙ на прикладі пунктів спостережень за якістю атмосферного повітря, що базується на основі зваженої кластеризації туристичних об'єктів та інфраструктури розміщення, що дозволяє контролювати екологічні ризики в процесі реалізації стратегій сталого розвитку територіальних громад.

4. Набули подальшого розвитку методичні засади гідроекологічного аналізу туристичних дестинацій шляхом розроблення моделі самоочищення р.Прут після скидів неочищених стічних вод на основі експериментальних досліджень, що дозволяє прогнозувати вплив туристичної діяльності на стан гідроекосистем у зонах рекреаційного навантаження.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання органами місцевого самоврядування та регіональними органами виконавчої влади для оптимізації системи екологічного моніторингу туристичних дестинацій, регулювання туристичного навантаження, зниження екологічних ризиків і обґрунтування стратегій сталого розвитку територіальних громад.

Практичні результати дослідження впроваджено у діяльність Карпатського національного природного парку (акт впровадження від 28.01.2026). Запропоновані підходи використано під час підготовки рекомендацій щодо оптимізації мережі спостережень за станом атмосферного повітря та обґрунтування розміщення низьковартісних сенсорів у зонах інтенсивного туристичного навантаження. Результати дослідження також впроваджено у навчальний процес Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу під час викладання дисциплін екологічного спрямування на кафедрі екології.

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, результати та висновки, подані в дисертаційній роботі, отримані здобувачем особисто. Автором розроблено концептуальні засади підвищення рівня екологічної безпеки туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області та сформовано теоретико-методологічні підходи до інтегрованого екологічного оцінювання впливів туристичної діяльності на компоненти довкілля. Обґрунтовано наукові положення, що становлять основу моделей екологічної стійкості туристичних територій на рівні громад.

Самостійно здійснено добір, систематизацію та критичний аналіз наукових джерел, нормативно-правових актів і офіційних статистичних матеріалів;

розроблено програму та виконано польові дослідження з відбором проб поверхневих вод і визначенням гідрохімічних показників. Проведено аналіз параметрів якості атмосферного повітря, сформовано та опрацьовано масив екологічних і туристичних даних територіальних громад, реалізовано статистичне моделювання з перевіркою статистичних гіпотез і побудовою кореляційно-регресійних залежностей.

Особистим внеском автора є застосування геоінформаційних та інформаційно-аналітичних технологій для просторового аналізу туристичних територій, побудова тематичних карт екологічного навантаження, розроблення алгоритму геопросторової кластеризації туристичних об'єктів інтересу та формування інтеграційної моделі оцінювання екологічної стійкості туристичних громад. Наукові положення, винесені на захист, сформульовані здобувачем і ґрунтуються на власному теоретичному, методичному та емпіричному дослідженні.

Апробація результатів досліджень. Основні положення і результати дисертаційної роботи та окремі результати проведених досліджень доповідались на конференціях різних рівнів, а саме: на Міжнародній науково-практичній конференції «Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля» (Івано-Франківськ – Бая-Маре, 2022); V Міжнародній науково-технічній конференції «Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг» (Львів, 2023); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічний стан навколишнього середовища та раціональне природокористування в контексті сталого розвитку» (Херсон, 2023); XVII Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» (Київ, 2023); Міжнародній конференції «Сталий розвиток економіки, суспільства та підприємництва» (Івано-Франківськ, 2023); Міжнародній Карпатській школі (Косів, 2024); IX Міжнародному молодіжному конгресі «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2024); IX Міжнародному з'їзді екологів (Вінниця,

2024); VIII Міжнародному конгресі «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (Львів, 2024); Міжнародній науково-теоретичній та прикладній конференції «Відновлення екосистем, які постраждали внаслідок воєнних дій» (Київ, 2024); Міжнародній Карпатській школі: весняна сесія (Яремче – Косів, 2025); II Міжнародній науково-практичній конференції «Стратегії та політики ЄС: інституційна структура та механізми реалізації» (Кривий Ріг, 2025); XVIII Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» (Київ, 2025); щорічній науковій конференції Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (Харків, 2025); Міжнародній науково-практичній конференції «Трансформаційні підходи до сталого розвитку: екологічна освіта, наука та природоохоронні практики для відбудови України» (Житомир, 2025), регіональної конференції «Молодіжний екогеофорум – 2025» (19–20 листопада 2025 р., м. Івано-Франківськ).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 25 наукових праць, серед них: 7 – наукових праць, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації (з них 4 індексовано в базі даних *Scopus*), та 18 – наукові праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації на міжнародних і всеукраїнських наукових заходах.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Загальний обсяг дисертації становить 256 сторінок машинописного тексту, з них 188 сторінок основного змісту. Робота містить 18 таблиць, 53 рисунків, 6 додатків. Список використаних джерел налічує 220 найменувань.

РОЗДІЛ 1.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ТУРИСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

1.1. Поняття та сутність екологічної оцінки у контексті туристичного навантаження територій

Категорія екологічної безпеки у сучасній науковій літературі розглядається як багатовимірне явище, що охоплює стан захищеності природного середовища, життєдіяльності людини та господарської діяльності від негативних екологічних впливів. У загальнотеоретичному значенні екологічна безпека визначається як такий рівень збалансованості природокористування та антропогенного навантаження, за якого зберігаються природні екосистеми, підтримується якість довкілля та забезпечуються екологічні права громадян [1, с.7].

Відповідно до положень статті 50 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [2], екологічна безпека визначається як стан навколишнього середовища, за якого гарантується запобігання погіршенню екологічної ситуації та захист здоров'я людини. Поняття охоплює сукупність дій, станів і процесів, що прямо або побічно не призводять до життєво важливих втрат (або загроз таких втрат), завданих природному середовищу, окремим людям та людству в цілому.

Історичні передумови формування поняття екологічної безпеки пов'язані з етапами індустріалізації та урбанізації XVIII–XIX ст., коли різке зростання викидів і антропогенного навантаження зумовило потребу в охороні довкілля [3]. У середині XX ст. суспільний екологічний рух, зокрема після публікації «Мовчазної весни» Р. Карсон, актуалізував проблеми впливу промисловості на природу та започаткував діяльність міжнародних організацій екологічного спрямування [4]. У 1960–1980-х рр. створення національних екологічних агентств (ЕРА у США, 1970) [5] та ухвалення законів про чисте повітря (1963) і воду (1977) заклали правові основи регулювання викидів і захисту ресурсів [6].

Розвиток міжнародного співробітництва підтверджують Стокгольмська декларація (1972) [7], Монреальський протокол (1987) [8] та Рамкова конвенція ООН про зміну клімату (1992) [9], що визначили напрями глобальної екологічної політики. Прийняття Порядку денного на XXI століття (1992) інтегрувало екологічну безпеку в концепцію сталого розвитку (рис.1.1) [10].

На рис. 1.1 відображено еволюцію нормативно-правових засад екологічної безпеки.

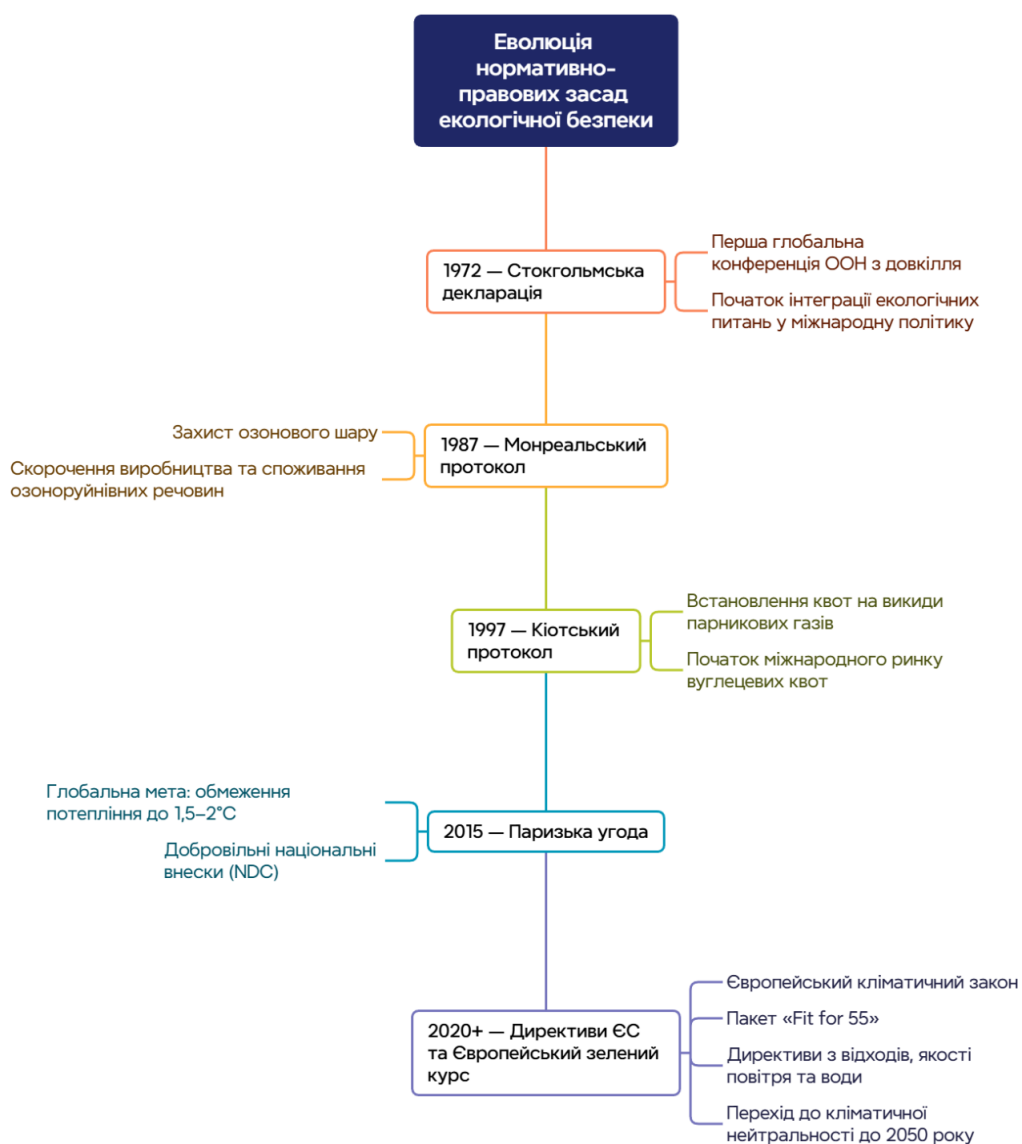


Рис.1.1. Еволюція нормативно-правових засад екологічної безпеки

Джерело: розроблено автором

У сучасних наукових підходах категорія «екологічна безпека» трактується по-різному що свідчить про її міждисциплінарний характер. У словнику-довіднику з екології вона визначається як стан захищеності особистості, суспільства і держави від наслідків антропогенного впливу та стихійних лих [11, с. 75]. В «Енциклопедії Сучасної України» наголошено на необхідності захисту життєво важливих інтересів людини, суспільства, довкілля та держави від реальних і потенційних загроз [12]. В. Яворська акцентує увагу на загрозах, які становлять об'єкти хімічної, нафтогазової та ядерної промисловості, особливо в умовах воєнних дій [13, с.56]. О. В. Задорожній та М. О. Медведева підкреслюють три виміри поняття: екологічні проблеми як загроза політичній та економічній стабільності; міждержавні конфлікти, пов'язані з транскордонним забрудненням; деградація екосистем як глобальна загроза існуванню людства [14, с. 160].

Шмандій В. М. та Харламова Е. В. розглядають екологічну безпеку як динамічну регіональну систему, що забезпечує гармонійний розвиток, виокремлюючи природну, антропогенну та природно-антропогенну небезпеку, у тому числі соціогенну [15 с.24]. В. С. Кравців визначає її як соціально необхідний рівень якості довкілля, що гарантує відсутність загроз здоров'ю людей і стабільність екосистем [16].

Серед інших підходів: А. Б. Качинський трактує екологічну безпеку як стан захищеності життєво важливих інтересів від природних, техногенних та соціальних загроз [17, с.71]; Р. Сабіров розглядає її як складову національної безпеки [18, с.240]; В. С. Дудюк та В. В. Гобела акцентують на інтеграції економічних і правових механізмів, пов'язуючи екологічну безпеку з концепцією сталого розвитку [19, с.135].

В. О. Копанчук пропонує три концепції – управлінську, охоронну та карально-ретроспективну, підкреслюючи необхідність інтегрованого підходу, що поєднує державне управління, правові механізми й відповідальність за порушення [20, с.45]. В. А. Ліпкан включає екологічну безпеку до структури національної безпеки, наголошуючи на правовому й економічному забезпеченні

сталого розвитку [21, с.57]. О. І. Гулич визначає її структурні елементи – аудит, моніторинг, прогнозування та екологічний менеджмент [22, с.145].

В. С. Сивицький визначає екологічну безпеку як категорію, що має три основні ознаки. Насамперед ідеться про захищеність життя та здоров'я людини від негативних впливів довкілля. Другою ознакою виступає раціональне природокористування, яке передбачає ефективне використання ресурсів із забезпеченням їх відтворення. Третьою ознакою вважається стан природного середовища, що характеризується екологічною рівновагою та відсутністю критичних змін у функціонуванні екосистем [23, с.247].

Згідно з поглядами О. О. Радченко, сучасні виклики зумовлюють необхідність переосмислення державної екологічної політики. Дослідниця виділяє глобальні загрози: руйнування озонового шару, зміну клімату, забруднення Світового океану, демографічні дисбаланси та дефіцит доступу до природних ресурсів. Особливий акцент робиться на негативному впливі транснаціональних корпорацій, що підвищують рівень екологічних ризиків. Авторка наголошує на створенні ефективної системи моніторингу, здатної своєчасно ідентифікувати небезпеки, прогнозувати наслідки й забезпечувати науково обґрунтоване управлінське реагування [24, с.73].

К. Звіерлейн у міжнародних працях підкреслює, що екологічна безпека формується у тісному зв'язку з глобальними політичними процесами. Початок тенденції такого трактування пов'язується зі Стокгольмською конференцією 1972 року, коли екологічні проблеми вперше інтегрувалися у сферу міжнародної безпеки. Науковець виокремлює три складові екологічної безпеки: безпеку, екологію та міжнародну історію, які під впливом глобалізації утворили інтегрований підхід [25].

А. Андронічану та О.М. Сабіє розробили концепцію, у межах якої екологічна безпека пов'язується з розвитком відновлюваної енергетики. Автори вважають, що перехід до зеленої енергетики сприяє скороченню парникових викидів, диверсифікації енергопостачання та зменшенню залежності від нестабільних ринків викопного палива. Підкреслюється роль Європейського

Союзу, який поставив стратегічну мету досягти кліматичної нейтральності до 2050 року та знизити чисті викиди на 55% до 2030 року [26].

За даними IRENA, розвиток відновлюваних джерел демонструє стабільне зростання упродовж останнього десятиліття. Потужності відновлюваної енергетики зросли більш ніж на половину, причому найбільші темпи зафіксовано у Китаї, США, Німеччині та Великій Британії. Дослідження підтверджують, що поширення зеленої енергетики не лише зменшує екологічні ризики, але й стимулює економічне зростання, створення робочих місць і розвиток інновацій [27-28].

Аналіз наукових підходів до визначення екологічної безпеки також демонструє різноманітність трактувань, які зосереджуються на природних, техногенних, соціальних, економічних та політичних чинниках. Сучасне розуміння передбачає не лише охорону довкілля, а й формування системи управління, що інтегрує правові, економічні, технологічні та організаційні механізми. Авторське бачення дозволяє визначити екологічну безпеку як стан захищеності життєво важливих інтересів людини, суспільства та держави, що забезпечується комплексом екологічних, правових, економічних і соціальних заходів, орієнтованих на підтримання екологічної рівноваги, мінімізацію антропогенних і природних ризиків та формування умов сталого розвитку.

Доцільність розгляду екологічної безпеки саме у сфері туризму зумовлюється прямою залежністю галузі від природного потенціалу та рекреаційної якості територій. Погіршення стану довкілля миттєво трансформується у втрату привабливості дестинацій, зниження доходів суб'єктів господарювання, ризики для здоров'я відвідувачів і місцевого населення, а також у додаткові витрати на відновлення ресурсів.

У науковому дискурсі екологічна безпека туризму трактується як стан мінімізації та керованості екологічних ризиків, що виникають унаслідок туристичної діяльності та супровідної інфраструктури, за умов збереження якості довкілля, ресурсної бази та добробуту приймаючих сторін. Концептуальний каркас формують міжнародні рамки сталого туризму

UNEP/UNWTO [30], де урядам рекомендовано інтегрувати екологічні цілі у політики планування, регулювання та економічні інструменти; підкреслено відсутність універсальної моделі й потребу адаптації інструментів до локального контексту.

Основні принципи концепції сталого туризму, запропоновані Туристичною радою та Всесвітнім фондом дикої природи (WWF) [30] передбачають (рис.1.2):

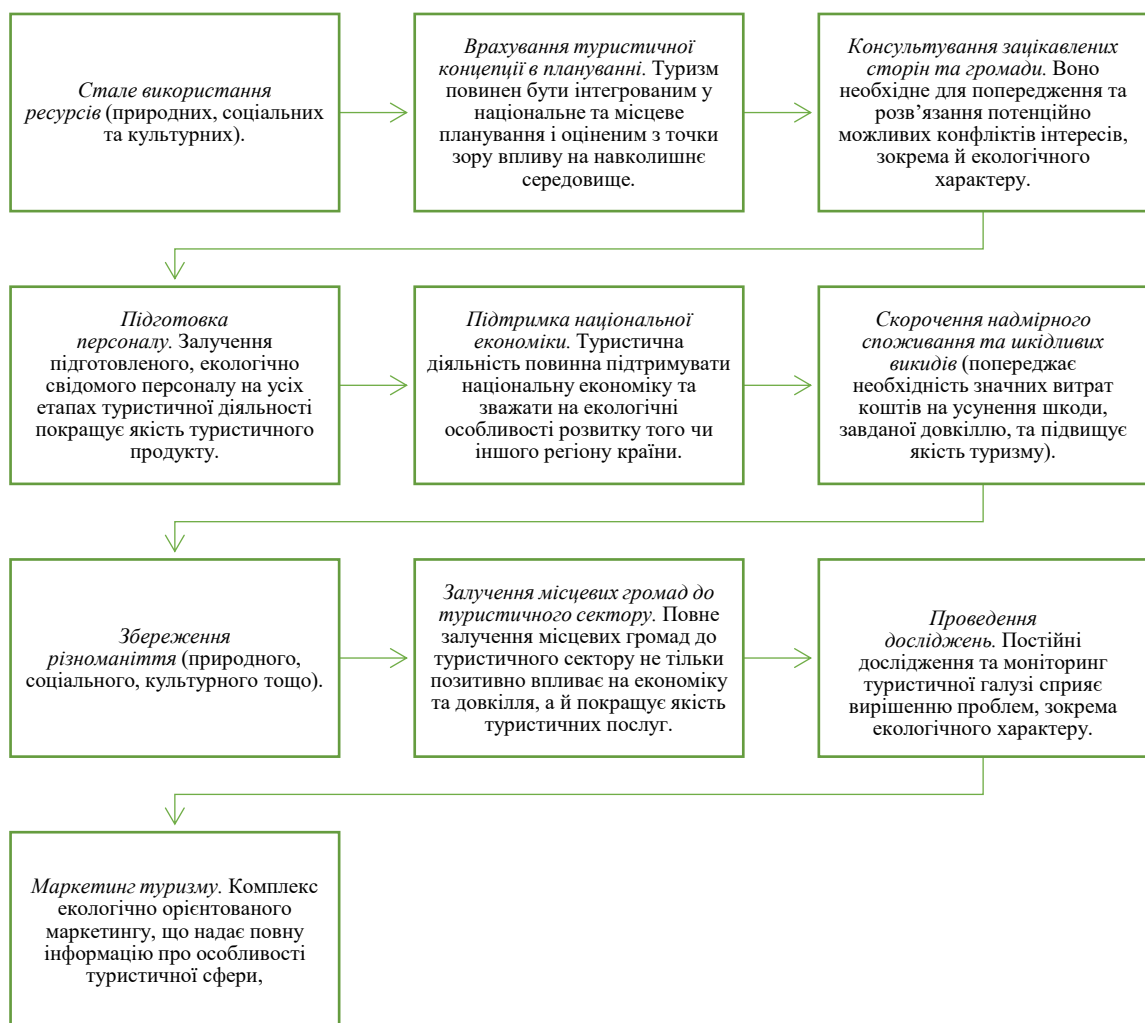


Рис.1.2. Основні принципи концепції сталого туризму, запропоновані Туристичною радою та Всесвітнім фондом дикої природи (WWF)

Джерело: розроблено автором на основі [30].

Нормативно-ціннісний вимір окреслено Глобальним кодексом етики туризму UNWTO, який визначає природоохоронну відповідальність держави, бізнесу, туристів і громад як імператив мінімізації негативного впливу туризму на довкілля та культурну спадщину [30]. Операційні підходи до забезпечення екологічної безпеки у туризмі базуються на інструментах екологічного планування рекреаційних територій: показники та моделі туристичної ємності (Tourism/Environmental Carrying Capacity) [31]. В емпіричних дослідженнях ТЕСС фіксується еволюція від локальних «точкових» оцінок до аналізу туристичних маршрутів і дестинацій на рівні повітів та ширших територіальних утворень, тобто перехід від точки до лінії й поверхні; паралельно співіснують мікро-, мезо- та макромасштабні підходи. Теоретичне підґрунтя формують моделі DEPSIR [32], PSR [33] та EES [34]. Локальні кейси охоплюють національні парки [35], туристичні курорти [36], озера [37], острови [38] і прибережні регіони [36]. Подальше географічне розширення включає архіпелаги [39], повіти [40, 41], міста [42, 43] та окремі регіони [44, 45].

Оцінювання ТЕСС здебільшого здійснюється через модельні та кількісні процедури із використанням даних національних/місцевих статистичних щорічників і панельних масивів. Попри численність досліджень для різних типів дестинацій, переважають самоадаптивні підходи, жорстко «прив'язані» до специфіки конкретних територій; порівняльні роботи залишаються поодинокими, а спільні (мультидестинаційні) проєкти мають обмежене охоплення і ступінь інтеграції. Така фрагментарність ускладнює формування системного уявлення про ТЕСС і знижує відтворюваність результатів у міжтериторіальних зіставленнях.

Також у межах операційних підходів до забезпечення екологічної безпеки в туризмі застосовують рамки LAC (визначення бажаних станів ресурсів і соціального середовища, добір індикаторів та порогів із запуском коригувальних дій у разі їх перевищення) [46], систему VERP (баланс «досвід відвідувача – збереження ресурсу» через зонування за бажаними умовами та адаптивне регулювання потоків) [47] і спектр ROS (класифікація територій від

«примітивних» до «урбанізованих» умов як основа просторового зонування та добору видів рекреації) [48].

Сукупне застосування цих методик дозволяє визначити граничні рівні туристичного навантаження, сценарії управління відвідуваністю, правила зонування та алгоритми моніторингу, забезпечуючи превентивне регулювання антропогенного впливу (рис.1.3).



Рис.1.3. Підходи управління рекреаційним навантаженням

Джерело: розроблено автором на основі [30]

Сучасна практика поєднує LAC/VERP із GIS-моделюванням (дані ДЗЗ, мережевий аналіз маршрутів, теплові карти попиту) та інтегральними показниками якості середовища (вода, повітря, шум, біорізноманіття), що підвищує обґрунтованість управлінських рішень і дає змогу тестувати керовані сценарії: ліміти/перміти, тайм-слоти, односторонні маршрути, шатл-сервіси, сезонні обмеження, диференційовані тарифи.

Український науковий дискурс у сфері дослідження сталого туризму в Карпатському регіоні та проблем екологічної безпеки в туризмі зосереджується на прикладних механізмах гармонізації рекреаційного використання з природоохоронними пріоритетами. У наукових працях [49-51] послідовно підкреслюється потреба обмеження масових туристичних практик у ландшафтах із підвищеною чутливістю до антропогенних впливів, що передбачає

застосування екологічного зонування територій, впровадження системи екосертифікації послуг і жорсткіший контроль ресурсокористування.

Аналізуючи екологічну безпеку в туристичній сфері, необхідно систематизувати загрози, які впливають на стан навколишнього природного середовища та якість туристичних ресурсів. Стратегія національної безпеки України [52] фіксує надмірний антропогенний тиск і високе техногенне навантаження, тривалі наслідки Чорнобильської катастрофи, значні обсяги відходів за умов низьких показників повторного використання та переробки, а також недостатню спроможність систем цивільного захисту й екологічного моніторингу; у довгостроковій перспективі йдеться про аномально високий тиск на земельні, водні, біотичні й мінерально-сировинні ресурси разом зі зростанням проявів зміни клімату.

У науковому вимірі українські та зарубіжні автори - Лебедев І. [53, с.162], Мелько Л. [54, с.190], Заваріка Г., Зеленко О. [55, с.39], Осітнянко Д., Примак Т. [56] - обґрунтовують інтеграцію принципів сталого туризму в управління DESTИНАЦІЯМИ через екомаркування та ресурсоефективність, удосконалення систем поводження з відходами, регулювання відвідуваності й посилення екологічного моніторингу, що безпосередньо підвищує рівень екологічної безпеки туристичних територій.

Брич В., Галич Н. [57, с.23] та Пригара О. [58, с.404] наголошують на подвійності проблеми: туристичний бізнес критично залежить від якості природного середовища, водночас рекреаційна інфраструктура й потоки відвідувачів створюють кумулятивний тиск на екосистеми. Ніколаєв К. Д. [59] виокремлює основні джерела впливу: надмірну концентрацію об'єктів у привабливих зонах, нераціональне використання лікувальних ресурсів, сезонну перенасиченість і високі обсяги відвідуваності, а також низьку екологічну культуру туристів.

Кучинська І. В. і Бомба М. Я. пов'язують негативний вплив із просторово-часовою концентрацією руху, диспропорціями інфраструктури, недосконалими форматами відпочинку та низькою екокультурою; основні носії впливу - туристи

(витоптування, засмічення, порушення біоти), заклади гостинності (ресурсоємність, водне забруднення, ТПВ) і транспорт (споживання ресурсів, шум, викиди) [60]. За Кржимовською-Костровицькою А., оцінювання варто вести на елементарному рівні (грунти, рослинність, рельєф, вода, повітря) і біоценотичному рівні (екосистеми, ландшафти), причому найбільше деградують рослинний покрив і ґрунти; водні та повітряні впливи проявляються через забруднення та зміну якості середовища [61]. Узагальнення обґрунтовує потребу в інтегрованих інструментах безпеки дестинацій: лімітах місткості, зонуванні, стандартах якості середовища, екомаркуванні, моніторингу й адаптивному регулюванні відвідуваності.

На рис. 1.4 відображено узагальнену авторську схему впливу туризму на стан довкілля, у якій систематизовано основні фактори антропогенного навантаження (туристична активність, транспорт, заклади гостинності, місцеві громади, екологічні тиски) та їх наслідки для природного середовища.

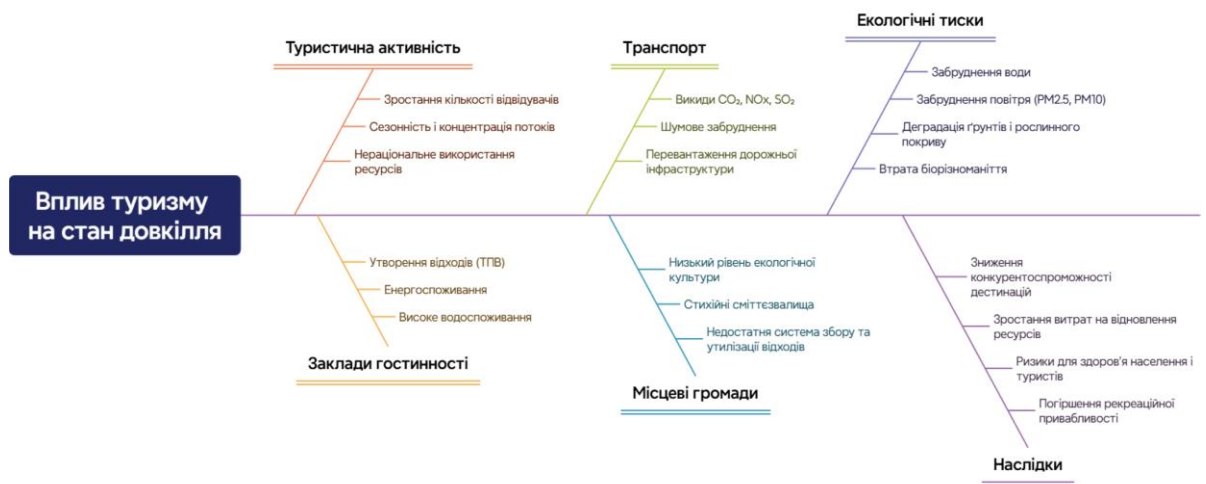


Рис.1.4. Систематизація екологічних наслідків туристичної діяльності
Джерело: розроблено автором на основі [49-61].

Повномасштабна війна російської федерації проти України зумовила комплексні виклики для національної економіки та суспільства, серед яких екологічна безпека туризму займає особливе місце. Воєнні дії спричинили

масштабне забруднення ґрунтів, повітря та водних ресурсів, що створило додатковий тиск на природне середовище й ускладнило умови для розвитку рекреаційної діяльності. Водночас на тлі загального спаду туристичної активності в державі Івано-Франківська область зберегла позиції одного з провідних центрів внутрішнього туризму і підтверджується даними, що у 2023 році регіон відвідали понад 2,4 млн туристів, а у 2024 році їх кількість зросла до 2,5 млн осіб. [62].

Зростання туристичного потоку в Карпатському регіоні супроводжується вагомими економічними ефектами, відображеними у збільшенні надходжень до місцевих бюджетів завдяки туристичному збору. Водночас інтенсивний розвиток галузі створює серйозні ризики для довкілля. Неконтрольоване зростання кількості відвідувачів призводить до перевантаження природних ресурсів, зростання обсягів твердих побутових відходів, які нерідко не підлягають належній утилізації, та деградації унікальних гірських екосистем. Особливо гостро проблеми проявляються у популярних туристичних локаціях, зокрема в Яремчі, де спостерігаються стихійні сміттєзвалища та забруднення річки Прут (рис.1.5).



Забруднення
поблизу водоспаду в
центрі Яремчі,
серпень 2024 року



Стихійне
сміттєзвалище
поблизу сувенірного
ринку в Яремчі,
серпень 2024 року



Забруднення водних
ресурсів у річці
Прут на території
Яремче, серпень
2024 року



Побутові відходи на
рекреаційній
території поблизу
скель у м. Яремче,
серпень 2024 року

Рис.1.5. Фотофіксація забруднення довкілля у туристичних локаціях м. Яремче (серпень 2024 року)

Узагальнення викладених положень дає підстави стверджувати, що екологічна безпека у сфері туризму має розглядатися як режим розвитку дестинацій у межах екологічної ємності територій з обов'язковим дотриманням нормативів якості довкілля та керованістю екологічних ризиків. Окреслена інтерпретація узгоджується з позиціями залучених науковців і логікою національної безпеки, де пріоритет надається збереженню ресурсної бази, біорізноманіття та захисту населення від екологічних загроз.

1.2. Взаємозв'язок рекреаційного навантаження та екологічної оцінки у сучасних наукових дослідженнях

Поглиблене розуміння взаємозв'язку між туристичною активністю та станом довкілля потребує використання емпіричних досліджень, які дозволяють кількісно визначити масштаби антропогенного навантаження на природне середовище. Саме статистичний аналіз екологічних показників у поєднанні з даними про туристичні потоки дає змогу виявити реальні закономірності впливу туризму на окремі компоненти довкілля та відокремити його ефекти від впливу інших соціально-економічних чинників.

Показовим прикладом такого підходу є дослідження Манца, Вілке та Дебеліча, у якому здійснено місячний статистичний аналіз 160 прибережних муніципалітетів Хорватії за 2019 рік. Метою дослідження було визначення відмінностей між внеском туристів і постійних мешканців у формування обсягів твердих побутових відходів у туристичних дестинаціях. Для цього автори використали дані, що поєднували інформацію про кількість туристичних ночівель, чисельність місцевого населення та показники утворення відходів у межах кожної територіальної одиниці.

У дослідженні застосовано модель Panel EGLS, що дозволило врахувати відмінності між окремими муніципалітетами та отримати більш надійні оцінки параметрів моделі. Результати аналізу показали чітку залежність між інтенсивністю туристичних потоків і зростанням обсягів відходоутворення. Встановлено, що відношення обсягу твердих побутових відходів щодо кількості

туристичних ночівель істотно перевищує еластичність щодо чисельності постійного населення. За розрахунками авторів, маржинальний внесок туристів у формування відходів у середньому є щонайменше на 22 % вищим, ніж внесок резидентів, а в окремих модельних специфікаціях ця різниця може досягати 55 % [63]. Отримані результати свідчать про те, що туристична активність виступає важливим фактором зростання антропогенного навантаження на систему поводження з відходами в туристичних дестинаціях.

З наукової точки зору наведене дослідження має важливе значення для формування методології екологічного оцінювання туристичного навантаження, оскільки демонструє можливості використання статистичних моделей для кількісного аналізу взаємозв'язку між туристичними потоками та екологічними показниками. Подібні підходи створюють підґрунтя для дослідження впливу туристичної діяльності на інші компоненти довкілля, зокрема водні ресурси, атмосферне повітря та рекреаційні ландшафти, що є актуальним і для територіальних громад Івано-Франківської області.

У публікації Arbulú I., Rey-Maqueira J., Sastre F. [64] представлено місячний статистичний аналіз для Ібіци з методичним розмежуванням внеску туристів і постійних мешканців у обсяги та композицію твердих побутових відходів. Аналітичну основу становить модифікована STIRPAT-модель (Population–Affluence–Technology) з контролем сезонності. Перевірено гіпотезу про структурні відмінності у відходоутворенні між туристичним і резидентним сегментами. За показниками на душу населення зафіксовано перерозподіл відходів від несортованих фракцій до відсортованих компонентів, а також виразну сезонну динаміку потоків, корельовану з туристичним циклом. Варто, однак, врахувати обмеження кейсу та можливі відмінності практик сортування. Для умов Івано-Франківської області доцільним видається адаптування рамки STIRPAT з включенням локальних індикаторів сезонності, метеофакторів і інфраструктурної спроможності, а також паралельна оцінка еластичностей щодо «туристичних ночівель» і денних відвідувань з метою чіткішої атрибуції навантаження.

Глобальне дослідження Su та Lee показало, що між якістю атмосферного повітря та туристичними потоками існує статистично значущий зв'язок. Погіршення якості повітря супроводжується зменшенням кількості міжнародних туристичних прибуттів. У дослідженні використано дані багатьох країн, а результати перевірено на різних статистичних моделях і показниках забруднення повітря (концентрації твердих частинок та газоподібних домішок). Встановлено також просторову неоднорідність: найбільш помітний вплив якості повітря на туристичні потоки спостерігається у країнах із розвинутим туристичним сектором, де екологічний стан середовища виступає важливим чинником привабливості дестинацій. Отримані результати свідчать про те, що покращення якості повітря може розглядатися як один із інструментів підвищення туристичної привабливості територій [64].

Для дисертаційного дослідження ці результати мають значення як зовнішній орієнтир для порівняння встановлених закономірностей. Вони дозволяють співставити взаємозв'язки між інтенсивністю туристичних потоків та екологічними показниками, виявлені для територіальних громад Івано-Франківської області, з аналогічними тенденціями, зафіксованими у міжнародних дослідженнях.

У дослідженні Balli, Cengiz, Koca Balli та Akar проаналізовано взаємозв'язок між розвитком туризму, економічним зростанням, використанням відновлюваної енергії, інноваційною діяльністю та викидами CO₂ у 12 країнах Європи з економіками, що розвиваються, за період 1999–2020 рр. Отримані результати показали, що вплив туризму на обсяги викидів є неоднозначним і залежить від економічних та енергетичних умов розвитку країни. Водночас встановлено, що зростання частки відновлюваної енергії та збільшення витрат на наукові дослідження і розробки сприяють зниженню рівня викидів CO₂ і формуванню більш екологічно збалансованої моделі економічного розвитку. Дослідження також засвідчило наявність зв'язку між економічним зростанням, туристичною активністю та обсягами викидів, що підтверджує необхідність

поєднання розвитку туризму з екологічною політикою та інноваційними технологіями [65].

Для дисертаційного дослідження ці результати мають значення як підтвердження того, що екологічні наслідки туристичної діяльності залежать не лише від масштабів туристичних потоків, але й від рівня технологічного розвитку та використання екологічно чистих енергетичних ресурсів.

Аналітичні висновки цього дослідження мають практичне значення для регіональної туристичної політики. Автори показують, що при аналізі впливу туризму на довкілля доцільно враховувати не лише кількість туристів, але й рівень використання відновлюваної енергії та інноваційної діяльності. Включення таких показників у моделі оцінювання дозволяє відрізнити ситуації, коли зростання туризму супроводжується збільшенням викидів, від випадків, коли розвиток відбувається за більш екологічно орієнтованою моделлю. У такому разі державна політика може спрямовуватися на підтримку відновлюваної енергетики, розвиток прикладних наукових досліджень і впровадження екологічних стандартів у діяльності туристичних підприємств [65].

Разом із тим результати дослідження свідчать, що економічне зростання не завжди автоматично призводить до зменшення екологічного навантаження. Виявлений U-подібний зв'язок між економічним розвитком і обсягами викидів CO₂ означає, що на певних етапах розвитку можливе повторне зростання викидів, якщо не впроваджуються енергоефективні технології та інновації. Крім того, встановлено, що збільшення туристичних прибуттів може спричинити підвищення рівня викидів, тому для туристичних територій важливо впроваджувати заходи низьковуглецевого транспорту, екологічні стандарти для засобів розміщення та систему екологічного маркування туристичних продуктів [65].

Продовжуючи аналіз взаємозв'язку між екологічними чинниками та туристичним попитом, у дослідженні «Carbon price shocks and tourism demand» розглянуто вплив змін цін на вуглецеві викиди на туристичну активність у 26

європейських країнах [66]. У роботі застосовано статистичний аналіз міжкраїнних даних, що дозволив оцінити, як підвищення вартості вуглецевих викидів у системі EU ETS позначається на кількості міжнародних туристичних прибуттів і середній тривалості перебування туристів. Результати показали, що зростання вуглецевих цін загалом має стримувальний ефект на туристичний попит. Водночас сила цього впливу відрізняється між країнами, що пояснюється особливостями транспортної системи, структурою енергоспоживання та часткою авіаперевезень у туристичних поїздках [66].

Подібні висновки наведено і в аналітичній роботі OECD (2023), де проаналізовано статистичні дані 30 країн і понад 50 секторів економіки з метою оцінки впливу екологічної політики на обсяги викидів CO₂ [67]. Дослідження показало, що посилення екологічного регулювання супроводжується поступовим зменшенням викидів, причому ефект проявляється з часом і відрізняється між секторами залежно від їхньої енергоємності та технологічного рівня. Сукупні результати свідчать, що інструменти кліматичної політики можуть одночасно впливати як на екологічні показники, так і на параметри туристичного попиту, що має значення для формування стратегій декарбонізації туристичних дестинацій [67].

Надійність отриманих результатів автори перевірили за допомогою додаткових статистичних розрахунків. Було використано різні варіанти моделей, змінено набір контрольних показників, а також окремо проаналізовано сектори економіки з найбільшими обсягами викидів [67].

Важливим фактором регулювання туристичного попиту виступає також відкритість інформації про стан довкілля. Дослідження Wang, Zang, Qiang та Wang показало, що після запровадження публічних систем моніторингу якості повітря у 297 містах спостерігалось зростання кількості туристичних відвідувань та збільшення середньої тривалості перебування туристів [68]. Водночас сила цього ефекту залежала від фактичного рівня забруднення: у містах із кращими екологічними показниками туристичний попит зростав значно швидше, тоді як у більш забруднених територіях позитивний ефект був слабшим. Це свідчить, що

доступність екологічної інформації підвищує довіру до туристичної дестинації та сприяє перерозподілу туристичних потоків на користь територій із кращим станом довкілля [68].

На рівні окремих туристичних об'єктів подібні закономірності підтверджено у дослідженні засобів розміщення на Канарських островах [69]. Аналіз даних 213 готелів показав, що після встановлення цифрових систем контролю водоспоживання спостерігалось статистично значуще зменшення використання водних ресурсів. Це демонструє, що впровадження цифрового моніторингу та систем управління ресурсами може сприяти більш ефективному використанню природних ресурсів у туристичній сфері [69].

Макрорівневі дослідження також підтверджують, що туристична активність у середньому пов'язана зі зростанням викидів CO₂, однак впровадження екологічної політики, підвищення енергоефективності та використання чистіших джерел енергії можуть суттєво зменшувати цей вплив [70]. Отримані результати підкреслюють важливість комплексного підходу до управління туристичними територіями, який поєднує прозорість екологічних даних, цифровий контроль використання ресурсів і узгоджені природоохоронні заходи на регіональному рівні.

Подальший розвиток досліджень у сфері взаємозв'язку туризму та стану довкілля пов'язаний із переходом від узагальнених статистичних оцінок до аналізу поведінки окремих туристів. Якщо на макрорівні встановлюється залежність між екологічними показниками та туристичними потоками, то на рівні індивідуального сприйняття важливо з'ясувати, як екологічні умови впливають на оцінку туристами якості відвіданої дестинації. У цьому контексті увага зосереджується на взаємозв'язку між станом довкілля, суб'єктивним досвідом відвідувача та подальшими ринковими наслідками, зокрема рекомендаціями й репутацією туристичних об'єктів.

У дослідженні Yang, Zhang та Fu проаналізовано оцінки іноземних туристів щодо туристичних атракцій Китаю [72]. Для аналізу використано значний масив відгуків туристів на платформі TripAdvisor, які було зіставлено з

даними про якість атмосферного повітря у відповідних містах і часових періодах. Статистичні розрахунки дозволили врахувати відмінності між туристичними об'єктами, регіонами та сезонними коливаннями відвідуваності, що дало змогу більш точно встановити вплив екологічних умов на оцінки туристів.

Результати аналізу показали, що погіршення якості повітря супроводжується зниженням рейтингових оцінок туристичних атракцій. У періоди підвищеного рівня забруднення іноземні відвідувачі залишали більш критичні відгуки, а емоційна тональність текстових коментарів ставала негативнішою. Також зменшувалася готовність туристів рекомендувати відвідані місця іншим мандрівникам. Отримані результати свідчать, що екологічний стан території безпосередньо впливає на суб'єктивне сприйняття туристичної дестинації та може позначатися на її конкурентоспроможності на міжнародному туристичному ринку [72].

Для дисертаційного дослідження наведені результати мають важливе методологічне значення, оскільки підтверджують існування причинно-наслідкового зв'язку між станом навколишнього природного середовища та рівнем туристичного споживання. Отримані у світових дослідженнях статистичні залежності свідчать, що погіршення екологічних характеристик території здатне безпосередньо впливати на туристичний попит, знижуючи привабливість дестинацій і формуючи негативні оцінки відвідувачів. У свою чергу, покращення екологічних умов сприяє підвищенню конкурентоспроможності туристичних територій, зростанню інтенсивності туристичних потоків та зміцненню репутації дестинації на міжнародному ринку.

У контексті даного дослідження ці висновки створюють додаткове емпіричне підґрунтя для аналізу взаємозв'язку між туристичним навантаженням і станом довкілля на рівні територіальних громад Івано-Франківської області. Вони підтверджують доцільність екологічного оцінювання туристичної діяльності, оскільки зміни у стані природного середовища можуть виступати як наслідком інтенсивного туристичного використання територій, так і фактором, що впливає на подальший розвиток туристичних потоків. У цьому зв'язку

результати дослідження можуть бути використані для обґрунтування управлінських рішень, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки туристичних територій, формування збалансованої моделі використання природно-рекреаційного потенціалу та удосконалення регіональної екологічної політики.

Причинно-наслідкові зв'язки між інтенсивністю туризму та станом довкілля відображено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Причинно-наслідкові зв'язки між інтенсивністю туризму та станом довкілля

Аналітичний блок	Зміст	Приклади з наукових досліджень
Чинники (детермінанти попиту й пропозиції)	Соціально-економічні параметри (доходи, урбанізація, мобільність); просторово-часові особливості попиту (сезонність, географічна концентрація); інституційні рамки (екополітики, стандарти управління).	Su & Lee (2022) - залежність міжнародних прибуттів від якості повітря; Balli et al. (2023) - роль R&D і відновлюваної енергії у формуванні вуглецевого сліду.
Механізми впливу (екологічні тиски)	Утворення ТПВ; надмірне споживання ресурсів (вода, енергія); забруднення повітря й води; просторово-часове перевантаження екосистем; шумове й транспортне навантаження.	Manza et al. (2019) – вищий рівень відходоутворення від туристів; Padrón-Fumero et al. (2025) - зменшення водоспоживання через цифровий моніторинг.
Наслідки (для довкілля та суспільства)	Деградація ландшафтів, втрата біорізноманіття, погіршення рекреаційної привабливості, зростання вуглецевих викидів, ризику для здоров'я населення, додаткові витрати на відновлення ресурсів.	Yang, Zhang, Fu (2022) - зниження оцінок туристичного досвіду через забруднення повітря; Wang et al. (2024) - просторові spillover-ефекти викидів CO ₂ .

Джерело: розроблено автором на основі [63-72]

Проведений аналіз наукових досліджень засвідчує наявність стійких взаємозв'язків між інтенсивністю туристичної діяльності та станом довкілля. У більшості робіт ці процеси розглядаються як послідовний ланцюг взаємодії: чинники розвитку туризму формують зростання туристичних потоків, що, у свою чергу, створює додаткове антропогенне навантаження на природне середовище, а це призводить до певних екологічних і соціально-економічних

наслідків. Статистичні дослідження, виконані у різних країнах і регіонах, підтверджують, що туристична активність може впливати на обсяги утворення відходів, використання природних ресурсів та інші екологічні показники. Зокрема встановлено, що внесок туристів у формування твердих побутових відходів у багатьох туристичних DESTИНАЦІЯХ є вищим, ніж внесок місцевого населення [63]. Також доведено, що сезонні коливання туристичних потоків змінюють структуру відходоутворення та навантаження на інфраструктуру поводження з відходами [64]. Окремі дослідження показують, що погіршення якості атмосферного повітря негативно позначається на кількості міжнародних туристичних прибуттів і на суб'єктивних оцінках туристичного досвіду відвідувачів [64; 72].

Разом з тим у наукових роботах підкреслюється, що негативний вплив туризму на довкілля може бути зменшений за рахунок використання сучасних технологій і відповідної екологічної політики. Встановлено, що збільшення частки відновлюваної енергії та розвиток наукових досліджень і технологічних інновацій сприяють зниженню вуглецевого сліду туристичної діяльності [65]. Посилення екологічних регуляторних вимог також пов'язується зі скороченням обсягів викидів у суміжних галузях економіки [67]. Водночас відкритий доступ до інформації про якість повітря підвищує довіру туристів і стимулює туристичний попит у містах із кращими екологічними характеристиками [68]. На рівні окремих туристичних об'єктів впровадження цифрових систем контролю використання ресурсів дозволяє зменшувати споживання води та підвищувати ефективність управління природними ресурсами [69]. Додатково підкреслюється важливість урахування просторових відмінностей між територіями, оскільки екологічні ефекти туристичної діяльності можуть поширюватися за межі окремих DESTИНАЦІЙ і потребують узгоджених управлінських рішень на регіональному рівні [70].

Отримані результати формують наукове підґрунтя для подальших досліджень і практичного управління туристичними територіями, особливо у регіонах із високою природною цінністю, зокрема у гірських DESTИНАЦІЯХ. Для

більш точного аналізу впливу туризму доцільно враховувати показники інтенсивності туристичних потоків, стану атмосферного повітря, структури енергоспоживання, рівня відкритості екологічної інформації та інфраструктурної спроможності територій, а також сезонні коливання туристичної діяльності [63–65; 70]. Ефективна екологічна політика у сфері туризму має поєднувати різні інструменти управління: прозорість екологічних даних, впровадження екологічних стандартів і систем екологічного маркування, стимулювання використання відновлюваних джерел енергії, підтримку інноваційних досліджень, а також цифровий моніторинг використання природних ресурсів [65–69]. Сукупність таких заходів дозволяє одночасно зменшувати екологічні ризики туристичної діяльності та підтримувати конкурентоспроможність туристичних дестинацій.

1.3. Нормативно-правові засади забезпечення екологічної безпеки туристичної діяльності: національний, міжнародний та європейський виміри

Підсистема правового забезпечення екологічної безпеки туризму формує інституційно закріплені межі для планування, будівництва та експлуатації туристичної інфраструктури, раціонального використання природних ресурсів, управління відходами, забезпечення доступу до екологічної інформації та участі громадськості у процесах прийняття рішень. Її функціонування відбувається у трьох взаємопов'язаних вимірах: національному, що визначає обов'язкові вимоги для суб'єктів господарювання та органів влади; міжнародному, який охоплює договірні зобов'язання України; європейському, що передбачає гармонізацію із правовим доробком ЄС у межах процесів євроінтеграції. Концептуальним підґрунтям правового регулювання виступає парадигма сталого розвитку, яка поєднує екологічні, соціальні та економічні цілі й забезпечує баланс між використанням туристичних ресурсів і збереженням природних систем.

Конституційні положення України становлять базову основу нормативно-правового регулювання у сфері екологічної безпеки, визначаючи пріоритет охорони довкілля та гарантії екологічних прав громадян. Перші кроки до інституційного закріплення цього напрямку були здійснені у Декларації про державний суверенітет України від 16 липня 1990 року [72], де окрема увага приділена екологічній безпеці. У розділі VII «Екологічна безпека» зафіксовано низку положень, серед яких - право держави забороняти будівництво та функціонування об'єктів, що становлять загрозу довкіллю, обов'язок забезпечувати захист населення від шкідливих наслідків господарської діяльності та гарантії відшкодування збитків, завданих екологічними рішеннями. Саме в цьому документі екологічна безпека вперше була визначена як окрема сфера державної політики, що заклало підґрунтя для подальшого розвитку конституційних гарантій у зазначеній сфері.

Подальший розвиток положення отримали в Конституції України 1996 року, яка заклала системні гарантії у сфері охорони довкілля. У статті 16 визначено, що забезпечення екологічної безпеки, збереження генофонду Українського народу та подолання наслідків Чорнобильської катастрофи належать до основних обов'язків держави. Стаття 50 закріплює право кожного на безпечне для життя і здоров'я довкілля, а також на відшкодування шкоди, завданої порушенням екологічних норм. Норма виводить екологічну безпеку в площину базових прав людини, які взаємопов'язані з правом на життя (ст. 27) та правом на охорону здоров'я (ст. 49) [73].

Базовим актом стала ухвалена у 1991 році редакція Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» [74], яка заклала нормативний фундамент для формування екологічної політики держави та створила універсальні правові механізми охорони довкілля. У законі закріплено принципи превентивності, пріоритетності екологічної безпеки, раціонального використання природних ресурсів, відшкодування шкоди, заподіяної довкіллю, а також інтеграції екологічних вимог у господарську діяльність. Закон унормував систему державного управління у сфері охорони навколишнього

природного середовища, визначив повноваження органів влади, права та обов'язки громадян, підприємств і організацій, а також запровадив економічні та правові інструменти забезпечення екологічної безпеки. Важливою новелою стало закріплення принципу доступу громадян до інформації про стан довкілля, що відповідає сучасним міжнародним стандартам.

Спеціальні закони деталізують напрями забезпечення екологічної безпеки. Закон «Про природно-заповідний фонд України» [75] визначає правовий режим територій та об'єктів, що мають особливу екологічну та рекреаційну цінність, зокрема національних парків і заповідників, які є основними туристичними магнітами. Закон «Про рослинний світ» [76] встановлює вимоги до охорони флори, тоді як Закон «Про тваринний світ» [77] регламентує використання й захист біорізноманіття, критично важливого для рекреаційних систем.

Закон «Про охорону атмосферного повітря» [78] створює нормативну базу для контролю якості повітря, а Закон «Про питну воду та питне водопостачання» для забезпечення доступу населення й туристів до безпечних водних ресурсів [79], а Закон «Про відходи» (замінений у 2022 році сучасним Законом «Про управління відходами») [80] орієнтує політику на принципи циркулярної економіки, особливо актуальні для туристичних територій з високим рівнем сезонного навантаження.

Вагоме значення мають інструменти превентивного планування. Закон «Про екологічну експертизу» (втратив чинність від 18.12.2017, підстава - 2059-VIII) [81] історично заклав підвалини превентивного контролю, а сучасний Закон «Про оцінку впливу на довкілля» [82] визначає процедури аналізу екологічних наслідків будівництва та функціонування туристичних об'єктів. Доповнює його Закон «Про стратегічну екологічну оцінку» [83], що поширює екологічні критерії на програми та просторові плани, включно з документами розвитку туризму.

Правове регулювання поширюється й на рекреаційно-курортну сферу. Закон «Про курорти» [84] закріплює вимоги до використання природних лікувальних ресурсів і функціонування оздоровчих зон. У зв'язку з інтеграцією екологічних вимог у сферу господарювання важливу роль відіграють Закон «Про

екологічну мережу України» [85], спрямований на просторову інтеграцію природоохоронних територій, та Закон «Про Червону книгу України» [86], який унормовує охорону рідкісних видів.

Особливе значення для галузевого виміру має Закон України «Про туризм» [87], що окреслює вимоги до безпеки туристичної діяльності, права й обов'язки суб'єктів туристичного ринку, включаючи аспекти екологічної відповідальності. Його положення інтегруються із загальною системою екологічного законодавства, створюючи правове поле, у якому розвиток туризму має відбуватися у поєднанні з охороною довкілля.

Водночас екологічна безпека у сфері туризму регулюється й низкою спеціалізованих актів: Закон «Про природні монополії» (у контексті водо- та енергопостачання туристичних об'єктів) [88], Закон «Про благоустрій населених пунктів» [89] (регламентація утримання рекреаційних територій), Закон «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» [79], а також численні підзаконні нормативні акти Кабінету Міністрів України, що деталізують вимоги у сферах санітарії, безпеки рекреацій, управління відходами та охорони природних територій.

Логічним етапом розвитку екологічного законодавства стало прийняття Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28 лютого 2019 року № 2697-VIII [90]. Його поява була зумовлена необхідністю інтеграції екологічних пріоритетів у всі напрями державної політики, гармонізації національних підходів із європейським правом та виконанням міжнародних зобов'язань України, зокрема в межах Паризької кліматичної угоди та Цілей сталого розвитку ООН.

До системи нормативно-правового забезпечення екологічної безпеки належить також блок кодифікованих актів, які регламентують засади раціонального використання та охорони природних ресурсів. Земельний кодекс України [91] визначає правові механізми власності, користування та охорони земель, передбачає запобігання деградації ґрунтів і формує умови для забезпечення їх відновлювальної спроможності. Водний кодекс України

[92] закріплює принципи раціонального використання водних ресурсів, встановлює порядок управління водними об'єктами, вимоги до їх охорони та регламентацію у сфері запобігання забрудненню. Лісовий кодекс України [93] регулює правовий статус лісів, порядок їх відтворення та охорони, зокрема у контексті збереження біорізноманіття й підтримання екологічної рівноваги. Кодекс України про надра визначає [94] засади використання й охорони надр, включаючи регулювання видобутку корисних копалин, охорону геологічного середовища та запобігання негативним наслідкам господарської діяльності.

Крім законів і кодексів, важливу роль у формуванні правових засад екологічної безпеки відіграють постанови Кабінету Міністрів України, що деталізують порядок реалізації природоохоронної політики та забезпечують її практичне втілення. Зокрема, постанова «Про затвердження Порядку функціонування національної системи оцінки антропогенних викидів та абсорбції парникових газів» [95] закріпила механізми обліку та звітності щодо викидів, що дозволяє Україні виконувати міжнародні кліматичні зобов'язання та підвищувати рівень національної екологічної безпеки. Постанова «Про порядок видачі дозволів на спеціальне використання природних ресурсів у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду і встановлення лімітів використання ресурсів загальнодержавного значення» [96] встановлює правила доступу до природоохоронних ресурсів, поєднуючи механізми дозволів із системою екологічних лімітів для збереження біорізноманіття та підтримання стійкості екосистем.

Особливе місце посідають постанови у сфері управління відходами. Зокрема, «Про затвердження Порядку ведення реєстру місць видалення відходів» [97] та «Про затвердження Порядку ведення державного обліку та паспортизації відходів» [98], які забезпечують створення системи моніторингу потоків відходів, їх зберігання та утилізації.

У цьому контексті варто зазначити, що забезпечення екологічної безпеки належить до повноважень широкого кола суб'єктів - від органів державної влади та місцевого самоврядування до інституцій громадянського суспільства. Їх

взаємодія формує багаторівневу систему захисту довкілля, яка охоплює як превентивні, так і компенсаторні механізми.

На рис. 1.6 узагальнено основні інституційні механізми забезпечення екологічної безпеки у сфері туризму.



Рис.1.6. Інституційні механізми забезпечення екологічної безпеки у сфері туризму

Джерело: розроблено

Зазначимо, що до суб'єктів екологічної безпеки належать: Президент України, Верховна Рада України, Кабінет Міністрів України, Рада Національної безпеки і оборони України, міністерства та інші центральні органи виконавчої влади, Національний банк України, суди загальної юрисдикції, прокуратура України, місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування, Збройні сили України, Служба безпеки України, Державна прикордонна служба України та інші військові формування, утворені відповідно до законів України, громадяни України, об'єднання громадян (ст. 4 Закону України «Про основи національної безпеки України») [99, ст. 4].

Особливе значення має ратифікація Україною низки міжнародних документів. Конвенція про оцінку впливу на навколишнє природне середовище у транскордонному контексті (1991 р.) [100] визначила правові підходи до попереднього аналізу екологічних наслідків масштабних проєктів, здатних

впливати на довкілля за межами національних кордонів, тим самим забезпечивши превентивний характер екологічної політики. Рамкова конвенція ООН про зміну клімату (1992 р.) [101], а також похідні від неї Кіотський протокол (1997 р.) [102] і Паризька угода (2015 р.) [103], закріпили глобальні механізми боротьби зі зміною клімату, в межах яких Україна взяла на себе зобов'язання зі скорочення викидів парникових газів, модернізації енергетичного сектору та впровадження кліматоорієнтованої політики. Конвенція про охорону біологічного різноманіття (1992 р.) [104] зобов'язала державу розробляти й реалізовувати програми збереження екосистем і видового різноманіття. Базельська конвенція (1989 р.) [105] закріпила міжнародні стандарти контролю за транскордонним перевезенням небезпечних відходів, встановивши чіткі вимоги до транспортування, утилізації та екологічної безпеки у цій сфері.

З огляду на повномасштабну агресію російської федерації та масові випадки екоциду, значення міжнародно-правових механізмів зростає ще більше. Руйнування промислових об'єктів, забруднення води та ґрунтів, знищення лісів і підриг Каховської ГЕС створили безпрецедентні ризики для екосистем і здоров'я населення, що підтверджує необхідність посилення імплементації міжнародних стандартів охорони довкілля [106].

Європейський вимір екологічної безпеки у сфері туризму ґрунтується на гармонізації українського законодавства з правом Європейського Союзу, що охоплює комплекс правових інструментів у сфері планування, управління природними ресурсами та контролю за впливом на довкілля. Застосування директив ЄС формує єдиний стандарт екологічного регулювання, який забезпечує баланс між розвитком туристичної інфраструктури та збереженням природного середовища. У цьому контексті стратегічне значення мають директиви з оцінки впливу: SEA (2001/42/EC) [107] і EIA (2011/92/EU зі змінами 2014/52/EU) [108], що вимагають врахування екологічних наслідків на етапах планування та проектування.

Значний блок правових надбань Європейського Союзу пов'язаний із природоохоронними директивами, які формують основу мережі Natura 2000 [109] та спрямовані на збереження біорізноманіття й охорону середовищ існування. Пташина директива (2009/147/ЄС) [110] та Оселищна директива (92/43/ЄЕС) [111] встановлюють правила для збереження територій, що мають особливу природну цінність, у тому числі рекреаційних. Для України інтеграція до цієї системи означає узгодження стандартів збереження природи з європейськими практиками, що посилює туристичну привабливість регіонів і гарантує сталість використання природних ресурсів. Водночас у сфері водних ресурсів важливе значення має Рамкова водна директива (2000/60/ЄС) [112], доповнена нормами щодо вод у зонах купання (2006/7/ЄС) [113] та якості питної води (2020/2184) [114]. Їхня реалізація забезпечує належний санітарний стан територій відпочинку та відповідає високим європейським стандартам охорони здоров'я туристів і місцевого населення.

Не менш вагомими є директиви, спрямовані на охорону атмосферного повітря та контроль шумового навантаження. Директива 2008/50/ЄС [115] зобов'язує держави забезпечувати відповідність якості повітря нормативним показникам, що особливо важливо для урбанізованих курортів і транспортних вузлів. У 2024 році ухвалено Директиву (ЄС) 2024/2881 (recast), яка з 12 грудня 2026 року замінює Директиву 2008/50/ЄС. Директива 2002/49/ЄС [116] регулює питання шумового забруднення, встановлюючи механізми моніторингу та управління рівнями шуму у громадських просторах, що має безпосередній вплив на комфортність туристичних дестинацій. Водночас у сфері управління відходами діє цілий комплекс правових актів: Рамкова директива про відходи (2008/98/ЄС) [117], Директива про захоронення (1999/31/ЄС) [118], норми щодо упаковки та відходів упаковки (2018/852) [119], а також регулювання одноразових пластикових виробів (2019/904) [120]. Для туризму це означає впровадження циркулярних практик і розвиток інфраструктури екологічно безпечного поводження з відходами.

Кліматична та енергетична складова гармонізації виражена в Європейському зеленому курсі, пакеті «Fit for 55» [121], а також директивах з відновлюваної енергетики (RED II/III) [122] та енергоефективності. Вони визначають орієнтири для декарбонізації секторів економіки, включаючи транспорт, готельне господарство та рекреаційну інфраструктуру. Для туристичної галузі це означає поступовий перехід до низьковуглецевих технологій, оптимізацію енергоспоживання та ширше застосування відновлюваних джерел енергії. На інституційному рівні важливими є система EMAS [123], європейський знак EU Ecolabel для туристичних послуг та система індикаторів ETIS [124], що дозволяють комплексно оцінювати сталість дестинацій. Доповнює ці механізми «Transition Pathway for Tourism» [125], спрямований на інтеграцію декарбонізації, цифровізації та стійкості у стратегічне планування розвитку туризму.

На нашу думку, сучасний стан нормативно-правових засад екологічної безпеки у сфері туризму характеризується наявністю розвиненої системи законодавчих та підзаконних актів, проте відзначається фрагментарністю, недостатньою координацією між секторальними політиками та слабкістю механізмів практичного впровадження. Попри відповідність міжнародним і європейським стандартам, ефективність реалізації норм значною мірою обмежується інституційною спроможністю, браком ресурсів та впливом воєнних факторів.

Таким чином, нормативно-правові засади екологічної безпеки у сфері туризму формують багаторівневу систему, яка поєднує національні, міжнародні та європейські інструменти правового регулювання. Їхнє ефективне застосування створює передумови для розвитку сталого туризму, мінімізації екологічних ризиків і зміцнення інтеграційного потенціалу України, водночас вимагаючи подальшої модернізації та інституційного посилення.

1.4. Роль територіальних громад у забезпеченні екологічної безпеки туристичної діяльності

Формування територіальних громад у сучасному вигляді пов'язане з реформою децентралізації публічної влади в Україні. Інституційний старт реформі надала Концепція реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади, схвалена у 2014 р., а правовим механізмом її реалізації став Закон України «Про добровільне об'єднання територіальних громад» від 5 лютого 2015 р. № 157-VIII [201]. Саме в межах зазначених рішень було започатковано перехід від фрагментованої системи дрібних місцевих рад до моделі спроможних територіальних громад, здатних самостійно виконувати значну частину публічних функцій і забезпечувати базові послуги на локальному рівні. Станом на 2025 рік, після реформи 2020 року, в Україні налічується рівно 136 районів, які утворилися внаслідок укрупнення попередніх 490 [202].

Причини утворення територіальних громад мали комплексний характер і були зумовлені як внутрішніми проблемами системи управління, так і потребою адаптації України до європейських принципів багаторівневого врядування. У наукових дослідженнях реформа децентралізації розглядається як відповідь на надмірну централізацію, фінансову слабкість місцевого самоврядування, низьку якість публічних послуг і неспроможність значної частини дрібних адміністративно-територіальних одиниць забезпечувати власний розвиток. У статті про результати децентралізації в Україні підкреслено, що передача повноважень і ресурсів від центру до місцевого рівня стала чинником посилення стійкості територіальних громад, їх інституційної самостійності та спроможності реагувати на соціально-економічні виклики [203, с.5].

Подальший розвиток наукового дискурсу змістив акцент із самого факту адміністративного укрупнення на категорію спроможності громади. У праці Т. Заяць, С. Романюка, Г. Краєвської, О. Дяконенко та О. Сиви наголошено, що формування спроможних територіальних громад пов'язане не лише з новими межами чи статусом, а передусім із ресурсною, організаційною та соціальною здатністю громади забезпечувати розвиток території, надання послуг і стійкість

до зовнішніх викликів [204, с.135]. У цьому контексті громада виступає не формальною адміністративною одиницею, а інституційною платформою локального розвитку, в межах якої концентруються фінансові, просторові, екологічні та управлінські інструменти.

Особливого значення набуває той факт, що після децентралізації саме територіальна громада стала базовим рівнем прийняття рішень щодо використання земель, місцевої інфраструктури, природних ресурсів і просторового планування. Відповідно, питання екологічної безпеки туристичної діяльності доцільно розглядати саме на рівні громад, оскільки в межах цієї одиниці поєднуються туристичні потоки, локальні екологічні наслідки та управлінські механізми реагування, що повністю узгоджується з сучасним міжнародним «локальним поворотом» у дослідженнях сталості туризму, де локальна дестинація або громада дедалі частіше виступає базовою одиницею спостереження, аналізу та управління.

У сучасному науковому дискурсі територіальна громада все виразніше визначається як базовий рівень, у межах якого поєднуються процеси туристичного розвитку, використання природно-ресурсного потенціалу та регулювання екологічних наслідків туристичної діяльності. Посилення уваги до локального рівня аналізу простежується як у прикладних дослідженнях, так і в міжнародних методологічних документах. Ернандес-Мартін та співавтори обґрунтовують, що новий статистичний стандарт вимірювання сталості туризму 2024 року закріплює орієнтацію на локальний рівень оцінювання, оскільки саме в межах місцевих туристичних дестинацій з'являється можливість виявлення просторово нерівномірних екологічних і соціальних ефектів туристичної активності [205]. Науковці наголошують, що використання локалізованих даних підвищує обґрунтованість управлінських рішень у питаннях перевантаження дестинацій, забезпечення сталості розвитку та мінімізації соціальних наслідків туризму.

Положення про визначальну роль місцевого рівня підтверджуються й сучасними аналітичними дослідженнями ОЕСД. У доповіді щодо моніторингу

сталості туризму на регіональному рівні вказано, що туризм характеризується високою ресурсоемністю, супроводжується зростанням відходоутворення та пов'язаний із деградацією екосистем, а отже потребує не лише статистичного обліку, а й включення місцевих жителів у процес прийняття рішень. У документі окремо підкреслено значення *participative, community-led destination management* для досягнення більш збалансованого розвитку туристичних територій [206].

У контексті управління туристичними дестинаціями особливого значення набуває участь громади як інституційної основи екологічно збалансованого розвитку. М. Турчінович, А. Вуйко та Н. Станішич довели, що туризм, ініційований і підтримуваний громадою, має статистично підтверджений зв'язок із трьома вимірами: конкурентоспроможністю дестинації, розширенням можливостей місцевого населення та участю громади у туристичних ініціативах. Отримані результати засвідчують, що залучення мешканців до розвитку дестинації виконує системоутворюючу функцію у забезпеченні сталості туристичної моделі [207].

Проблематика екологічної безпеки туристичної діяльності особливо загострюється в гірських і природоохоронних територіях, де зростання туристичних потоків трансформується у посилений тиск на природне середовище та інфраструктуру. М. Роговський, Б. Завілінська та Й. Гібнер доводять, що надмірна туристична відвідуваність у гірських національних парках зумовлює негативний вплив як на природні комплекси, так і на місцеві громади, а пом'якшення таких ефектів можливе лише за умови використання систематизованих даних туристичного моніторингу [208]. Відповідно, екологічну безпеку туристичних територій доцільно розглядати не ізольовано від системи спостережень, а як результат поєднання моніторингової, регуляторної та просторово-планувальної функцій.

В українському науковому дискурсі роль територіальних громад у забезпеченні сталого туристичного розвитку набула особливої актуальності в умовах повномасштабної війни та підготовки до повоєнного відновлення. І. Лісовська та співавтори розглядають територіальні громади як ключових

учасників відновлення туристичної сфери, оскільки на локальному рівні зосереджуються природні й інфраструктурні ресурси, управлінські повноваження, соціально-економічні інтереси населення та механізми взаємодії з бізнесом [209, с.34]. У дослідженні наголошено, що скорочення туристичних потоків, руйнування інфраструктури, вплив інвестицій, безпекові ризики, фінансова обмеженість і незавершеність окремих управлінських трансформацій безпосередньо позначилися на спроможності громад підтримувати економічну активність і формувати нові моделі розвитку. За результатами аналізу автори пов'язують перспективи сталого туризму з узгодженням інтересів територіальних громад, суб'єктів господарювання та органів публічного управління, а також із кластерним підходом до розроблення програм туристичного розвитку з урахуванням масштабів руйнувань і ресурсного потенціалу окремих територій, що дає підстави розглядати територіальну громаду як визначальний суб'єкт повоєнного відновлення туристичної діяльності та важливу ланку забезпечення економічної, соціальної й екологічної збалансованості розвитку.

Т. Тимошенко, О. Шевчук і О. Шевчук розглядають розвиток туризму в громадах і регіонах України крізь призму повоєнного відновлення, акцентуючи увагу на міжгалузевому значенні туристичної сфери для економічної, соціальної та просторової трансформації територій. У дослідженні наголошено, що наслідки війни спричинили масштабні втрати для туристичного сектору, зокрема через мінування територій, руйнування природних ландшафтів, знищення об'єктів історико-культурної спадщини та загальне погіршення безпекових умов функціонування дестинацій. За таких обставин туризм інтерпретується авторами не лише як галузь, що зазнала значних втрат, а і як інструмент активізації повоєнного розвитку, здатний стимулювати підприємництво, створення робочих місць, наповнення місцевих бюджетів і поживлення суміжних видів економічної діяльності. Вагоме місце у викладі посідає положення про необхідність упровадження підходів сталого розвитку, орієнтованих на екологічний захист, підтримку місцевих громад, довгострокове економічне

зростання та використання кращих європейських управлінських практик [209]. Наукова позиція авторів має значення для обґрунтування ролі територіальних громад у туристичному відновленні, оскільки саме на рівні громади відбувається поєднання ресурсного потенціалу території, управлінських рішень, просторового планування та фінансових механізмів, необхідних для формування стійкої моделі розвитку туризму в післявоєнний період.

С. Бугіль і Р. Ступень розглядають сільський зелений туризм як один із напрямів соціально-економічного розвитку територіальних громад у сільській місцевості, пов'язуючи його з диверсифікацією локальної економіки, пожвавленням підприємницької активності, відновленням інфраструктури та розширенням зайнятості населення. У дослідженні наголошено, що для територіальних громад розвиток сільського зеленого туризму має значення як інструмент мобілізації місцевого потенціалу, збільшення бюджетних надходжень і зміцнення економічної бази розвитку. Автори уточнюють зміст поняття сільського зеленого туризму, відмежовуючи його від агротуризму та екологічного туризму, що дає змогу точніше визначити його місце в системі управління розвитком сільських територій і територіальних громад. Окрему увагу приділено потребі державної підтримки та стратегічного планування у сфері сільського зеленого туризму, включно з програмними механізмами стимулювання, пільговим кредитуванням, податковими інструментами, маркетинговими комунікаціями та адаптацією нормативного регулювання до європейських підходів. На основі SWOT-аналізу С. Бугіль і Р. Ступень окреслюють сильні та слабкі сторони, можливості й загрози розвитку сільського зеленого туризму в Україні, що має прикладне значення для територіальних громад у частині формування пріоритетів місцевої політики, підвищення конкурентоспроможності території, раціонального використання природно-ресурсного потенціалу та зміцнення екологічної безпеки туристичної діяльності [210].

Н. Паньків обґрунтовує, що стратегія сталого розвитку туризму територіальних громад має формуватися на засадах соціально-екологічного

підходу, який поєднує раціональне використання природних ресурсів, мінімізацію шкоди довкіллю та орієнтацію на збалансований соціально-економічний розвиток території. У дослідженні, виконаному на прикладі Старосамбірської об'єднаної територіальної громади Львівської області, увагу зосереджено на тому, що територіальні громади в умовах децентралізації набувають реальних повноважень у сфері стратегічного планування туристичного розвитку, а отже потребують нових методологічних підходів до використання власного туристично-рекреаційного потенціалу. Авторка пов'язує розвиток туризму територіальних громад із підвищенням якості життя населення, створенням сприятливих умов для підприємницької діяльності, розвитком інфраструктури та збереженням природних екосистем. Окрему увагу приділено прикордонним територіям, для яких туристична спеціалізація може виступати чинником економічного пожвавлення в умовах євроінтеграційних процесів і міжрегіональної взаємодії [211, с.71]. Наукова позиція Н. Паньків має значення для обґрунтування ролі територіальних громад як базового рівня вироблення й реалізації стратегій сталого туризму, у межах яких поєднуються екологічні обмеження, економічні інтереси та соціальні потреби місцевого населення.

О. Зеленко, Т. Барабаш і Н. Жуган обґрунтовують роль місцевих громад як активних суб'єктів розвитку зеленого туризму через механізми екологічної відповідальності. У статті наголошено, що успішна реалізація принципів сталого туризму залежить від спроможності громади виконувати нормативно-регуляторну, ресурсно-управлінську, координаційно-партнерську та освітньо-культурну функції. Автори пов'язують розвиток зеленого туризму з упровадженням екологічних ініціатив, ревіталізацією територій, розвитком кластерів і застосуванням інструментів моніторингу природних загроз та соціальної адаптації населення. Окрему увагу зосереджено на потребі посилення інституційної спроможності місцевих громад через підтримку партнерств, спрощення доступу до фінансових ресурсів, поширення екологічної просвіти та розбудову цифрових інструментів спостереження [212, с.335]. Позиція авторів

дає підстави розглядати місцеву громаду як визначальний чинник формування екологічно орієнтованої моделі туристичного розвитку в умовах повоєнного відновлення.

Зауважимо, що Д. Дзвінчук і Н. Ігнатюк розглядають гірські територіальні громади України як специфічний тип локальних соціально-економічних систем, розвиток яких потребує окремої управлінської логіки, адаптованої до природно-географічних, інфраструктурних і демографічних особливостей гірських територій. У дослідженні наголошено, що реформа децентралізації відкрила для таких громад ширші можливості самостійного планування розвитку, посилила їхній статус у системі публічного управління та створила передумови для формування власної стратегічної моделі добробуту населення. Водночас реалізація потенціалу гірських громад ускладнюється поєднанням низки чинників: просторовою віддаленістю, складністю транспортного сполучення, обмеженістю інфраструктурної бази, підвищеною залежністю від природно-кліматичних умов, а також незавершеністю частини інституційних і секторальних реформ [213, с.135]. На наш погляд, це має особливе значення, оскільки дає підстави розглядати територіальну громаду не лише як адміністративну одиницю, а як базовий рівень узгодження інтересів населення, місцевого самоврядування, бізнесу та природного середовища у процесі регулювання туристичної діяльності. Важливим є також акцент на карпатських гірських громадах як територіях, для яких стратегічне планування має спиратися на спеціалізований підхід, а не на уніфіковані моделі місцевого розвитку. У такому вимірі територіальна громада постає основним суб'єктом, у межах якого поєднуються завдання економічного зростання, природоохоронного регулювання, просторового планування та адаптації до зовнішніх кризових впливів.

На нашу думку, екологічне оцінювання територіальних громад має принципове значення для дослідження туристичної діяльності, оскільки саме в межах громади найбільш чітко проявляються зміни стану природного середовища під впливом антропогенних чинників. Порівняно з узагальненими

регіональними характеристиками, локальний рівень дає змогу точніше простежити просторову диференціацію екологічних процесів, виявити неоднорідність навантаження на водні об'єкти, атмосферне повітря, ґрунтовий покрив і рекреаційні ландшафти, а також визначити території, у межах яких порушення екологічної рівноваги набуває найбільш відчутного характеру. У цьому розумінні територіальна громада постає не лише як адміністративна одиниця, але насамперед як простір локалізації екологічних наслідків туристичної діяльності.

Разом з тим значення такого оцінювання істотно зростає в громадах, де туризм пов'язаний з інтенсивним використанням природно-рекреаційного потенціалу. У подібних умовах природне середовище одночасно виконує функцію ресурсної основи туристичного розвитку й об'єкта антропогенного впливу. Саме тому аналіз туристичної діяльності без урахування екологічних параметрів не дає повного уявлення про реальний стан території, оскільки залишає поза увагою зміни у водоспоживанні, накопиченні відходів, трансформації ландшафтів, забрудненні атмосферного повітря та деградації рекреаційних ділянок. Особливо виразно така залежність простежується в гірських громадах, для яких характерні підвищена чутливість природних комплексів, обмежена ресурсна місткість і сезонна концентрація туристичних потоків.

Крім того, екологічне оцінювання територіальних громад має вагоме науково-прикладне значення, оскільки дозволяє перейти від загального опису екологічного стану до встановлення конкретних закономірностей формування негативних змін у довкіллі. Головне при цьому полягає в тому, що результати такого оцінювання створюють підґрунтя для визначення екологічно допустимих меж туристичного освоєння, виявлення локальних осередків підвищеного ризику та обґрунтування природоохоронних заходів. Отже, екологічне оцінювання територіальних громад доцільно розглядати як необхідну складову дослідження туристичного навантаження, що забезпечує виявлення реального

стану природного середовища, простеження динаміки його змін і наукове обґрунтування збереження екологічної стійкості туристичних територій.

Таким чином, у процесі децентралізації територіальна громада набула статусу базового просторового та інституційного рівня, у межах якого поєднуються використання природних ресурсів, розвиток туристичної інфраструктури та реагування на екологічні наслідки туристичної діяльності. Роглянуті наукові підходи засвідчують посилення уваги до локального рівня як до найбільш придатного для виявлення нерівномірності туристичного навантаження, просторової локалізації екологічних ризиків і оцінювання стійкості природно-рекреаційних систем.

Разом з тим аналіз наукових джерел показав, що роль територіальних громад у забезпеченні екологічної безпеки туристичної діяльності не зводиться лише до виконання організаційних чи регуляторних функцій. Громада постає простором, у межах якого найбільш виразно проявляються зміни у стані водних ресурсів, атмосферного повітря, ландшафтів, рекреаційних ділянок і комунальної інфраструктури під впливом туристичного освоєння. Саме тому екологічне оцінювання на рівні громади забезпечує більш точне виявлення локальних осередків навантаження, дозволяє простежити динаміку екологічних змін і встановити межі екологічно допустимого туристичного використання території.

Отже, територіальні громади доцільно розглядати як важливу одиницю екологічного аналізу туристичної діяльності, оскільки саме на цьому рівні стає можливим поєднання просторової деталізації, екологічних параметрів і практичних потреб збереження природного середовища, а такий висновок створює теоретичне підґрунтя для подальшого дослідження туристичного навантаження громад Івано-Франківської області та обґрунтування методів його екологічного оцінювання.

Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження. У першому розділі досліджено теоретичні основи екологічної безпеки у сфері туризму з урахуванням сучасних викликів розвитку територіальних громад. Розкрито історичні етапи становлення відповідного поняття від періоду індустріалізації XVIII–XIX ст. до сучасних концепцій сталого розвитку, орієнтованих на локальний рівень управління природними ресурсами. Систематизовано наукові підходи — від трактування екологічної безпеки як захищеності життя і здоров'я людини до розуміння її як складової національної та регіональної безпеки, що безпосередньо впливає на соціально-економічну спроможність громад. Підкреслено значення глобальних документів, зокрема Стокгольмської декларації 1972 р., Монреальського протоколу 1987 р., Рамкової конвенції ООН про зміну клімату 1992 р., які визначили напрями міжнародної екологічної політики та стали підґрунтям для формування сучасних підходів до екологічного управління на місцевому рівні.

У межах аналізу взаємозв'язку туризму та екології здійснено систематизацію емпіричних досліджень, що дозволило ідентифікувати механізми впливу туристичної активності на довкілля територіальних громад і, водночас, залежність туристичної привабливості від якості природного середовища.

Окрему увагу приділено нормативно-правовим засадам екологічної безпеки туризму. У національному контексті проаналізовано положення Конституції України (ст. 16, 50), Закону «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991), спеціальних законів у сфері природно-заповідного фонду, атмосферного повітря, водних ресурсів, відходів і курортів, а також Земельного, Водного та Лісового кодексів. Визначено значення законів «Про оцінку впливу на довкілля» (2017), «Про стратегічну екологічну оцінку» (2018), «Про Основні засади державної екологічної політики до 2030 року» (2019) для інтеграції екологічних критеріїв у стратегічне планування розвитку територіальних громад. У міжнародному та європейському вимірах розглянуто Конвенцію Еспо (1991), Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату (1992),

Паризьку угоду (2015), Базельську конвенцію (1989), а також директиви ЄС SEA, EIA, Оселищну, Пташину, Водну, атмосферну, відходову та стратегічні рамки Європейського зеленого курсу й пакету «Fit for 55», що формують нормативну основу екологічно орієнтованого управління туристичною діяльністю громад.

Узагальнено сучасні наукові підходи до визначення ролі громади у сфері туристичного розвитку та забезпечення екологічної безпеки. Встановлено, що локальний рівень набуває дедалі більшого значення у дослідженнях сталості туризму, оскільки саме в межах громади найвиразніше проявляються просторово нерівномірні екологічні наслідки туристичної активності. Показано, що для гірських, рекреаційно спеціалізованих і постраждалих від воєнних ризиків територій громада виступає основною ланкою поєднання природно-ресурсного потенціалу, туристичної спеціалізації, інфраструктурних обмежень і соціально-економічних інтересів населення. У результаті аналізу наукових джерел обґрунтовано, що забезпечення екологічної безпеки туристичної діяльності на рівні громади потребує врахування не лише господарських ефектів туризму, а й його впливу на стан водних ресурсів, атмосферного повітря, ландшафтів, рекреаційних територій та екологічну стійкість природних комплексів.

Крім того, обґрунтовано доцільність розгляду територіальної громади як базової одиниці екологічного оцінювання туристичного навантаження. Доведено, що саме локальний рівень забезпечує можливість більш точного виявлення просторової диференціації антропогенного впливу, встановлення локальних осередків підвищеного екологічного ризику та визначення екологічно допустимих меж туристичного освоєння території. На цій основі зроблено висновок, що екологічне оцінювання територіальних громад є необхідною передумовою науково обґрунтованого дослідження туристичного навантаження, оскільки дозволяє поєднати аналіз стану довкілля, просторову локалізацію впливів і потребу збереження природно-рекреаційного потенціалу в умовах туристичного розвитку.

Відповідно до мети дисертаційного дослідження для її досягнення було поставлено **такі завдання:**

1. Проаналізувати теоретико-методологічні підходи до оцінювання туристичного навантаження та визначити його взаємозв'язок зі станом природного середовища і забезпеченням екологічної безпеки територіальних громад.

2. Дослідити просторову структуру туристичної діяльності в Івано-Франківській області та визначити особливості формування туристичного навантаження на рівні територіальних громад.

3. Оцінити вплив туристичного навантаження на стан компонентів довкілля (водні ресурси, атмосферне повітря, утворення відходів) у межах територіальних громад Івано-Франківської області.

4. Розробити підхід до просторового екологічного оцінювання туристичного навантаження із використанням геоінформаційного аналізу, картографічного моделювання та статистичної перевірки гіпотез на основі статистичних даних.

5. Обґрунтувати принципи формування просторово організованої системи екологічного моніторингу туристичних територій та визначити можливості використання її результатів для забезпечення екологічної безпеки і сталого розвитку територіальних громад Івано-Франківської області.

РОЗДІЛ 2.

МЕТОДИ, МАТЕРІАЛИ ТА ОБ'ЄКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Програма та структура дослідження

Програма дисертаційного дослідження розроблена як послідовна система аналітичних, діагностичних та методичних етапів, що взаємопов'язані між собою і забезпечують комплексність оцінки екологічної безпеки туристичних територій. Вона спрямована на інтеграцію теоретичних підходів, правових положень, природничих і соціально-економічних показників у єдину наукову модель, яка дозволяє здійснити повний цикл дослідження - від концептуального обґрунтування до прикладних рекомендацій для регіональної політики (рис.2.1).

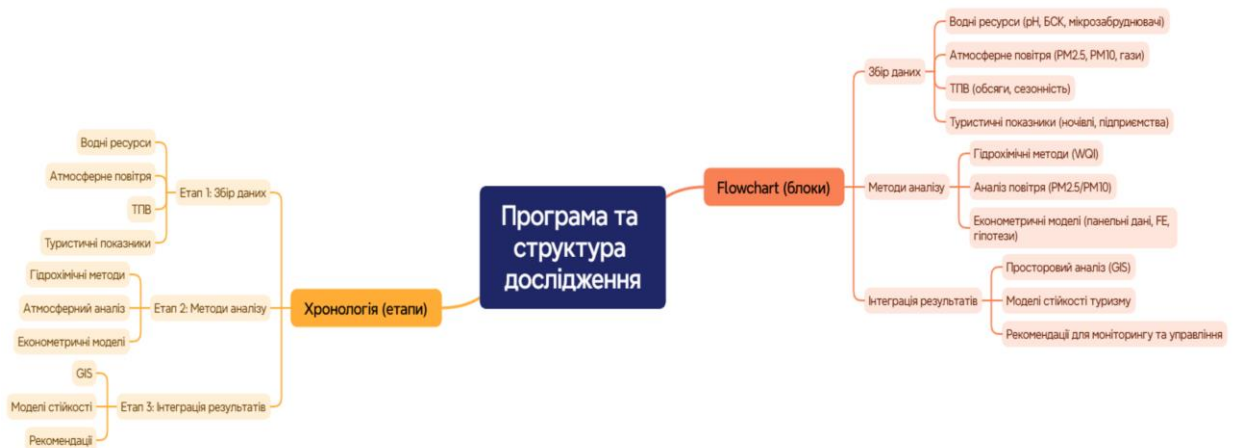


Рис.2.1. Програма та структура дослідження

Перший етап програми має теоретико-аналітичний характер і включає формування концептуальної основи дослідження. Було систематизовано наукові підходи до визначення екологічної безпеки у сфері туризму, охарактеризовано еволюцію поняття від охоронних концепцій до сучасної парадигми сталого розвитку, розглянуто її інституційне закріплення у міжнародних і європейських документах. Окремо проаналізовано нормативно-правову базу України, яка визначає гарантії екологічних прав, правила використання природних ресурсів та механізми екологічного моніторингу. Теоретичні узагальнення дозволили

виробити дослідницькі критерії, на основі яких здійснюється подальша оцінка екологічної безпеки туристичних територій.

Другий етап програми зосереджений на характеристиці об'єкта дослідження - туристичних територій Івано-Франківської області. У межах цього етапу виконано аналіз просторово-функціонального профілю регіону, розглянуто структуру туристичного попиту, динаміку відвідуваності та сезонні коливання, а також охарактеризовано природні ресурси, які зазнають найбільшого антропогенного навантаження.

Третій етап представлений методичною частиною, де поєднано природничі та кількісні методи аналізу. Для оцінки стану водних ресурсів застосовано методику визначення здатності водотоку до самоочищення. Паралельно здійснено розрахунок емісійних навантажень, що дозволяє кількісно оцінити вплив джерел забруднення на поверхневі води у туристичних районах. Для атмосферного повітря проведено аналіз концентрацій дрібнодисперсних частинок $PM_{2.5}$ та PM_{10} , а також їх сезонної варіативності та відповідності європейським стандартам. Усі розрахунки виконано з використанням сучасних інструментів математичного моделювання та програмних засобів, що забезпечує відтворюваність результатів.

Четвертий етап програми присвячено статистичному аналізу взаємозв'язку туристичної діяльності та екологічної безпеки. Для цього сформовано статистичний датасет за 2019–2024 роки з нормуванням основних показників на площу територіальних громад, що дало можливість усунути масштабні спотворення і порівняти різні території між собою. До складу включено дані про туристичні потоки, кількість ночівель, завантаженість засобів розміщення, показники якості повітря, характеристики водних ресурсів та параметри відходоутворення. Для моделювання використано статистичні методи аналізу даних, зокрема моделі, що враховують відмінності між територіальними громадами та часову динаміку показників.

Завершальний етап програми має інтеграційний характер і передбачає узагальнення результатів, перевірку статистичних гіпотез та формулювання

практичних рекомендацій. Отримані висновки інтерпретуються у контексті сучасних викликів сталого розвитку, з урахуванням потреб регіональної політики та європейських екологічних стандартів. На основі комплексного аналізу запропоновано концептуальну модель регіональної системи моніторингу та управління екологічною безпекою туристичних територій, що може бути адаптована до умов воєнного стану і гармонізована з нормативно-правовими стандартами Європейського Союзу.

На рис.2.2. відображено хронологію дослідження.



Рис.2.2. Хронологія дослідження

Отже, у межах програми дослідження сформовано комплексну структуру, що поєднує теоретико-аналітичні, емпіричні та методичні елементи. Передбачено систематизацію наукових підходів і правових засад, характеристику туристичних територій Івано-Франківської області, застосування гідрохімічних методів оцінки самоочищення та емісійних навантажень, аналіз атмосферного повітря і концентрацій дрібнодисперсних частинок, а також статистичне моделювання даних. Програмна логіка базується на поетапному переході від збору та обробки даних до інтеграції результатів у вигляді моделей і рекомендацій.

Структура забезпечує відтворюваність результатів, обґрунтованість висновків і формує підґрунтя для розроблення регіональної системи моніторингу та управління екологічною безпекою туризму.

2.2. Методи гідрохімічної оцінки якості водних ресурсів

Водні ресурси Карпатського регіону мають визначальне значення у забезпеченні екологічної рівноваги, рекреаційної привабливості та сталого функціонування туристичної інфраструктури. Інтенсивне туристичне навантаження в поєднанні з кліматичними змінами спричиняє зростання ризиків для гідроекосистем, зокрема порушення процесів самоочищення, накопичення біогенних і органічних сполук, підвищення мінералізації та зниження концентрацій розчиненого кисню. Саме тому гідрохімічний підхід виступає одним із напрямів дослідження екологічної безпеки туристичних територій.

Відбір проб води організовано на р. Прут у межах м. Яремче з фокусом на ділянці нижче водоспаду Пробій. Польові вимірювання організовано за схемою лінійного профілю з десятьма контрольними точками через кожні 10 м на відстані 0–90 м від кромки падіння. Кожна точка фіксувалась GPS-координатами, висотою місця відбору та гідрометеорологічними умовами. Період робіт охопив сезон максимального рекреаційного навантаження 2024 р.; для контексту використано щомісячні ряди офіційного моніторингу за 2024 р. по пункту «р. Прут, 896 км, м. Яремче, лівий берег».

У польових умовах вимірювались:

- рН (кислотність);
- електропровідність як проксі загальної мінералізації (мг/л у перерахунку);
- розчинений кисень DO (мг/л), температура води (°C).

Фонові нормативні межі задано згідно з ДСТУ 4077:2001 (мінералізація ≤ 1000 мг/л) [158] та ДСТУ 4808:2007 [159] (DO ≥ 4 –6 мг/л для водойм рекреаційного/господарського призначення). Організаційно-методичні приписи польової гідрохімії - ДСТУ 4287:2004 [160].

Використано портативний мультипараметровий прилад Water-quality meter AZ 8603K з датчиками рН, ЕС та DO. Перед початком зміни виконувалась двоточкова калібровка рН-каналу (буфери 7,00 та 4,00), одноточкова калібровка ЕС за стандартним розчином 1413 $\mu\text{S}/\text{cm}$ з подальшим температурним

перерахунком, а також калібрування DO за методикою водно-повітряної насиченості (air-saturation) із корекцією на барометричний тиск та температуру. Метрологічні характеристики фіксувались у польовому журналі; для кожного параметра знімались щонайменше три послідовні покази з обчисленням середнього та стандартного відхилення.

Занурення датчиків виконувалось у струминній зоні, на глибині 15–20 см, навітряно від оператора, без порушення донного шару. Час стабілізації сигналу - до 60 с для рН/ЕС та до 120 с для DO. Для мінімізації впливу турбулентних пульсацій у зоні 0–30 м використовувались повторні зчитування з інтервалом 10–15 с, після чого застосовувалось усереднення. Після кожної точки проводилось ополіскування датчиків дистильованою водою. Додатково фіксувалась швидкість течії (візуальна шкала/плавучий маркер на відрізок 10 м) для подальшої інтерпретації самоочисних процесів.

Для валідації польових DO та сезонного контексту залучено щомісячні спостереження Держводагентства (2024 р.; пункт у межах м. Яремче). Дані інтегрувались у єдину базу з позначенням джерела, дати та методики вимірювань.

Для кількісної оцінки інтенсивності природних процесів використовувались відносні коефіцієнти зміни концентрацій уздовж профілю:

$$K_{\text{очист}} = \frac{C_{\text{поч}} - C_i}{C_{\text{поч}}} \times 100\% \quad (2.1)$$

де $C_{\text{поч}}$ - концентрація показника у початковій точці (0 м), C_i - концентрація у вибраній точці річкового профілю.

Для випадку з розчиненим киснем, де концентрація має тенденцію до зростання внаслідок турбулентного насичення, формула набуває вигляду:

$$K_{\text{очист}} = \frac{DO_i - DO_{\text{поч}}}{DO_{\text{поч}}} \times 100\% \quad (2.2)$$

де $DO_{\text{поч}}$ - концентрація показника у початковій точці (0 м), DO_i - концентрація у вибраній точці річкового профілю.

Просторовий тренд мінералізації моделювався експоненційною функцією згасання з асимптотою:

$$M(x) = a \cdot e^{-bx} + c \quad (2.3)$$

де:

$M(x)$ - мінералізація води (мг/л) на відстані x метрів від водоспаду;

a , b , c - параметри моделі, що визначають форму кривої (емпірично підібрані на основі даних);

e - основа натурального логарифма (приблизно 2.718);

x - відстань у метрах від точки спаду води;

Для кількісної інтерпретації тиску на водний об'єкт від стаціонарної та сезонної людності застосовано розрахунок річної емісії речовин за питомими добовими викидами:

$$E = \frac{N \cdot e \cdot (1-\eta) \cdot 365}{1000} \quad (2.4)$$

де,

E - річна емісія забруднювача, т/рік

N - чисельність населення (осіб)

e - питомий викид речовини на одну особу за добу, г/добу

η - коефіцієнт ефективності очистки (від 0 до 1)

365 - кількість днів у році

1000 - коефіцієнт для переведення грамів у тонн

Для кожної точки розраховувались середні значення, стандартні відхилення, коефіцієнти варіації; для профільних рядів - непараметричні

перевірки тренду (тест Манна–Кендалла), оцінка монотонності (Тау Кендалла). Невизначеність польових вимірювань визначалась через комбіновану похибку (повторюваність + дрейф + специфіка турбулентної зони). Обчислення виконувались у табличному процесорі та Python; контроль відтворюваності - фіксація усіх перетворень у протоколі обробки.

Доступ до берегової лінії забезпечувався без втручання у прибережну рослинність та без порушення природоохоронного режиму; робота в зоні струминної турбулентності велася у засобах індивідуального захисту, без входження у русло на глибину, небезпечну за швидкістю течії.

Таким чином, застосовані методи гідрохімічної оцінки забезпечили комплексне вивчення якості води у рекреаційно навантажених ділянках річки Прут у межах міста Яремче. Використання портативних приладів дало змогу оперативно визначати показники кислотності, мінералізації та концентрації розчиненого кисню, що дозволило відстежити просторову динаміку параметрів у зоні турбулентного впливу. Розрахунок коефіцієнтів самоочищення та математичне моделювання експоненційного згасання мінералізації виявили високу ефективність природних механізмів відновлення гідрохімічної рівноваги.

2.3. Методи аналізу атмосферного повітря та дрібнодисперсних частинок

Забезпечення екологічної стійкості туристичних територій безпосередньо пов'язане з якістю атмосферного повітря, яке визначає комфортність перебування, рівень рекреаційного потенціалу та стан громадського здоров'я. Зростання туристичних потоків у Карпатському регіоні супроводжується інтенсифікацією транспортного руху, розвитком інфраструктури та підвищенням локальних викидів забруднювальних речовин. Дрібнодисперсні частки PM_{2.5} і PM₁₀, вуглекислий газ, формальдегід та інші газоподібні компоненти виступають найбільш чутливими індикаторами антропогенного впливу. Їхнє накопичення формує екологічні ризики для населення і туристів та одночасно знижує конкурентоспроможність дестинацій. У цьому контексті

інструментальний аналіз якості повітря з урахуванням рівня туристичного навантаження постає як необхідний елемент наукового обґрунтування управління сталим розвитком рекреаційних територій.

Метою дослідження визначено кількісне оцінювання стану повітряного середовища в туристичних локаціях Івано-Франківської області та моделювання взаємозв'язків між пиловим навантаженням і комплексом антропогенних та метеорологічних чинників. Для досягнення поставленої мети передбачалося проведення інструментальних вимірювань концентрацій дрібнодисперсних часток PM_{2.5} і PM₁₀, вуглекислого газу, формальдегіду, об'ємної частки кисню, а також базових метеорологічних параметрів – температури й відносної вологості. У рамках дослідження здійснено класифікацію туристичних локацій за рівнем антропогенного навантаження, проведено порівняння отриманих результатів із чинними нормативами, зокрема положеннями Наказу Міністерства охорони навколишнього природного середовища України №286 та рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я. Подальший етап полягав у побудові статистичних моделей для виявлення провідних факторів, що зумовлюють варіативність пилового навантаження, а також у виконанні оцінки невизначеності та валідації отриманих результатів.

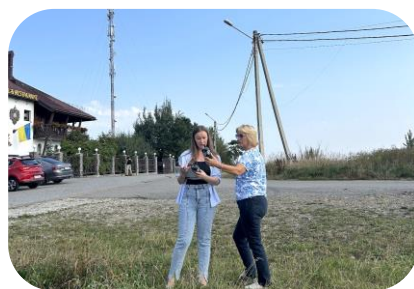
Маршрут спостережень сформовано за принципом функціональної контрастності територій. До вибірки включено 24 точки у трьох групах навантаження: низьке (лісопаркові та природні зони), середнє (рекреаційно-туристичні простори, громадські місця), високе (транспортно-торговельна інфраструктура, паркінги, ринки, вузли дорожнього руху). Географічні координати кожної точки зафіксовано у польовому журналі, висота приймача повітря - 1,5 м від поверхні. Вимірювання виконано 30 серпня 2024 року у проміжку 10:00–17:00 за відсутності опадів і сильного вітру, що мінімізує добові та погодні зсуви (рис.2.3).



Підготовка до вимірювань екологічних параметрів



Польові вимірювання якості атмосферного повітря поблизу ресторану «Лейбова гора»



Проведення вимірювань якості атмосферного повітря на парковці біля ресторану «Лейбова гора»



Документування даних моніторингу якості атмосферного повітря у рекреаційній зоні ГК «Буковель»

Рис.2.3. Фотофіксація процесу вимірювань атмосферного повітря та дрібнодисперсних частинок

Інструментальна база включала: СЕМ DT-9881М для визначення PM_{2.5}, PM₁₀ (оптичний принцип за розсіянням світла), формальдегіду (НСНО), температури та відносної вологості; Walcom W-K-600 для вимірювання CO і NO₂ (електрохімічні сенсори); СЕМ GD-3803 для контролю об'ємної частки O₂. Усі прилади працювали від вбудованих акумуляторів, дані журналювалися у внутрішню пам'ять з подальшим експортом у формат CSV (рис.2.4).



Портативний прилад
екологічного контролю
CEM GD-3803



Портативний
газоаналізатор Walcom
W-400



Аерозольний/екологічн
ий аналізатор CEM
DT-9881M



Комбінований прилад
Water Quality Meter AZ
86031

Рис.2.4. Інструментальна база дослідження забруднення повітря дрібнодисперсними частками у туристичних локаціях Івано-Франківської області, а також стану водних ресурсів

Забезпечення якості та калібрування передбачало нуль-перевірку на відкритому повітрі, тест чутливості газоаналізаторів на еталонних сумішах, дублікати вимірювань у кожній третій точці, фонові «чисті» повтори у віддаленій лісовій зоні на початку та завершенні маршруту, контроль дрейфу на контрольній позиції опівдні. Первинну фільтрацію аномальних значень виконано за правилом 3σ . Паспорти похибок занесено до протоколу невизначеності.

У кожній точці виконано не менш як 5 серій по 60 с з кроком 10 с. Показники усереднено з урахуванням медіани та міжквартильного розмаху; для РМ застосовано корекцію відносної вологості за методикою виробника. Зіставлення з гранично допустимими концентраціями: РМ_{2.5} - 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (середньодобова), РМ₁₀ - 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (середньодобова), НСНО - 0,035 ppm; орієнтир для CO₂ - до 1000 ppm (вентиляційні рекомендації). Для кожної точки сформовано індикатори відповідності/невідповідності та запас екологічної стійкості у відсотках.

Статистична обробка виконувалася у середовищі Excel/Python з такими кроками: описова статистика (середнє, стандартне відхилення, коефіцієнт варіації, 95% довірчі інтервали); міжгрупові порівняння для PM2.5 та PM10 методами ANOVA або Краскела-Уолліса залежно від нормальності; з огляду на це, доцільним було використання поліноміальної регресії четвертого порядку, яка дозволяє враховувати вищі степені змінної PM2.5 для моделювання її впливу на рівень PM10.

Додатково до моделі було включено категоріальну змінну «Категорія навантаження», представлено у вигляді двох бінарних предикторів: для зон із низьким та середнім рівнем антропогенного навантаження. Зона з високим навантаженням виступає базовою (референтною) категорією. Саме тому, для побудови моделі було використано поліноміальну регресію 4-го порядку:

$$PM10 = \beta_0 + \beta_1 PM2.5 + \beta_2 PM2.5^2 + \beta_3 PM2.5^3 + \beta_4 PM2.5^4 + \beta_5 (\text{Низьке навантаження}) + \beta_6 (\text{Середнє навантаження}), \quad (2.5)$$

де:

β_0 – вільний член (константа), який відповідає базовому рівню PM10,

β_1 – лінійний коефіцієнт, що показує, як змінюється PM10 при зміні PM2.5,

$\beta_2, \beta_3, \beta_4$ – поліноміальні коефіцієнти, що відображають нелінійний вплив PM2.5 на PM10,

β_5 – корекція рівня PM10 для низького навантаження,

β_6 – корекція рівня PM10 для середнього навантаження.

Результати регресійного аналізу = Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.87$ (модель пояснює 87% варіації PM10). Усі поліноміальні коефіцієнти є статистично значущими ($p < 0.05$).

Вимірювання виконано на публічних територіях без обмеження доступу; маршрути погоджено з адміністраціями об'єктів; перешкод для звичайної діяльності відвідувачів не створювалося.

2.4. Статистичні та картографічні методи аналізу

Статистичні дані, які дозволяють відстежувати одні й ті самі об'єкти протягом певного періоду, набули широкого застосування в дослідженнях у 1960-1970-х роках. Їх популярність зросла через необхідність розрізняти варіації між різними об'єктами спостереження та зміни, що відбуваються всередині кожного окремого об'єкта з плином часу.

Основна ідея статистичних моделей, що враховують індивідуальні особливості об'єктів, полягає в усуненні незмінних у часі прихованих характеристик об'єкта (території, підприємства тощо), які можуть бути пов'язані з пояснювальними змінними та призводити до зміщення оцінок, отриманих методом найменших квадратів (OLS). Формальне обґрунтування такого підходу та його порівняння з моделями, де індивідуальні характеристики розглядаються як випадкові, наведено у класичних працях Я. Мундлака (дослідження кореляції регресорів із незмінними характеристиками об'єктів) [161], Дж. Хаусмана (тест вибору між альтернативними специфікаціями моделі) [163], а також у подальших економетричних дослідженнях (Hsiao [164]; Baltagi [165]; Wooldridge [166]). Вагомий внесок у розвиток методів оцінювання дисперсій та стійких стандартних похибок зробив М. Арельяно, який запропонував використання кластерно-робастних коваріаційних матриць [167]. Окремий напрям становлять динамічні статистичні моделі для аналізу даних різних об'єктів у часі, у яких використовується лагована залежна змінна; для таких моделей характерним є так зване «зміщення Нікелла», що виникає за невеликої часової довжини вибірки.

Розглянемо статистичну структуру даних, де $i = 1, \dots, N$ позначає територіальні громади, а $t = 1, \dots, T$ — часові періоди (роки). Модель з фіксованими ефектами (FE) для аналізу таких даних записується наступним чином:

$$y_{it} = \alpha_i + \beta^T x_{it} + u_{it} \quad (2.6)$$

У цій специфікації α_i відображає унікальні характеристики кожної громади, які залишаються незмінними протягом досліджуваного періоду. Вектор

x_{it} містить пояснювальні змінні (включаючи можливі лагові значення), а u_{it} представляє випадкову складову моделі.

Для отримання FE-оцінки параметрів $\widehat{\beta}_{FE}$ застосовують два основні підходи. Перший передбачає використання методу найменших квадратів з повним набором фіктивних змінних для кожної громади (LSDV). Другий, більш поширений підхід, базується на внутрішній трансформації даних:

$$\tilde{y}_{it} = y_{it} - \bar{y}_i, \quad \tilde{x}_{it} = x_{it} - \bar{x}_i, \quad \hat{\beta}_{FE} = \arg \min_{\beta} \sum_{i,t} (\tilde{y}_{it} - \beta^T \tilde{x}_{it}). \quad (2.7)$$

Перевага цього методу полягає в тому, що фіксовані ефекти α_i елімінуються через процедуру центрування, що дозволяє коректно ідентифікувати параметри моделі, спираючись виключно на варіацію показників у часі в межах кожної окремої громади.

Для врахування загальних макроекономічних впливів, які одночасно діють на всі громади - таких як економічні кризи, зміни в законодавстві, воєнні дії чи коливання цін на ключові товари - до моделі включають часові фіксовані ефекти τ_t :

$$y_{it} = \alpha_i + \tau_t + \beta^T x_{it} + u_{it} \quad (2.8)$$

Така специфікація з двовимірними фіксованими ефектами стала золотим стандартом у сучасних емпіричних дослідженнях, що аналізують панельні дані типу «регіон-час». Вона дозволяє одночасно контролювати як незмінні особливості кожної територіальної одиниці, так і загальні тенденції, що впливають на всі спостереження в конкретний момент часу.

У панелях з імовірною серійною кореляцією та гетероскедастичністю у межах її використовують кластер-робастні стандартні похибки (кластер за i). За наявності міжтериторіальної залежності (просторові кореляції) доцільні корекції типу Driscoll–Kraay [168] або просторово-робастні матриці (Conley [169]).

Центральною умовою для застосування методу фіксованих ефектів є строга екзогенність регресорів відносно випадкової складової:

$$E(u_{it} | x_{i1}, \dots, x_{iT}, \alpha_i, \tau_t) = 0 \quad (2.9)$$

Це означає відсутність двох критичних проблем: одночасної зворотної причинності та впливу неврахованих змінних, що змінюються в часі й корелюють з пояснювальними факторами моделі.

Особлива цінність FE-підходу полягає в його здатності нейтралізувати вплив незмінних у часі характеристик територій, які потенційно корелюють з регресорами. До таких характеристик належать:

- особливості рельєфу
- історично сформований рівень урбанізації
- базова інфраструктура
- структура промислового комплексу регіону

Коефіцієнти β в моделі з фіксованими ефектами відображають виключно внутрішню динаміку показників. Їх слід інтерпретувати так: зміна пояснювальної змінної x_{it} в межах однієї й тієї ж громади з часом асоціюється з відповідною зміною залежної змінної y_{it} , за умови незмінності індивідуальних (α_i) та часових (τ_t) ефектів.

Моделі з фіксованими ефектами демонструють свою ефективність у трьох основних ситуаціях:

1. При наявності структурних просторових особливостей. Коли існують вагомі підстави вважати, що пояснювальні змінні корелюють з незмінними характеристиками територій — такими як висотність рельєфу, транспортна доступність чи історично сформована промислова спеціалізація громад.

2. При фокусі на внутрішній динаміці процесів. Коли дослідницький інтерес зосереджено на виявленні часових взаємозв'язків у межах однієї територіальної одиниці. Наприклад, при аналізі того, як зростання туристичного потоку в попередньому періоді впливає на інтенсивність водокористування в наступному.

3. При необхідності контролю неспостережуваних факторів. Коли пріоритетом є нейтралізація впливу неврахованих постійних характеристик, а міжтериторіальні відмінності мають другорядне значення для дослідження.

Незважаючи на переваги, моделі з фіксованими ефектами мають суттєві обмеження:

1. Неєфективність для статичних регресорів. FE-моделі практично "знищують" змінні з низькою часовою варіацією, оскільки такі фактори елімінуються в процесі внутрішньої трансформації даних.

2. Недостатність при важливості міжтериторіальних порівнянь. Коли суттєва частина аналізу має базуватися на порівнянні різних територій ("between-ефект"), FE-підхід виявляється недостатнім.

3. Вразливість до просторових залежностей. За наявності сильних просторових взаємозв'язків та специфічних регіональних шоків, що не охоплюються часовими ефектами τ_t , доцільніше застосовувати спеціалізовані просторові моделі (SAR/SEM/SDM) або використовувати просторово-робастні стандартні похибки.

4. Неадекватність при ендогенності. У випадках одночасної причинності чи зворотного зв'язку між змінними необхідно звертатися до інструментальних змінних, лагових інструментів або узагальненого методу моментів (GMM).

5. Зміщення в динамічних специфікаціях. При включенні лагової залежної змінної $y_{i,t-1}$ у модель з коротким часовим горизонтом виникає зміщення Нікелла, що вимагає застосування спеціальних методів оцінювання, зокрема підходу Ареллано-Бонда.

Коли незмінні в часі індивідуальні ефекти α_i можна обґрунтовано вважати некорельованими з регресорами x_{it} (тобто $Cov(\alpha_i, x_{it}) = 0$), модель з випадковими ефектами (RE) набуває суттєвих переваг з точки зору статистичної ефективності. Це особливо актуально при аналізі панельних даних з обмеженою внутрішньогруповою варіацією.

Для емпіричного обґрунтування вибору між FE та RE підходами застосовують тест Хаусмана, який оцінює систематичність відмінностей між оцінками, отриманими обома методами. Відхилення нульової гіпотези в цьому тесті свідчить на користь моделі з фіксованими ефектами, вказуючи на наявність кореляції між індивідуальними ефектами та регресорами.

Компромісним рішенням виступає "гібридний" підхід Мундлака, який розширює специфікацію моделі з випадковими ефектами шляхом включення внутрішньогрупових середніх значень регресорів \bar{x}_i . Така модифікація дозволяє частково контролювати потенційну кореляцію між незмінними характеристиками та пояснювальними змінними, зберігаючи при цьому переваги RE-підходу в оцінюванні ефектів змінних з низькою часовою варіацією.

У нашій роботі одиниці - територіальні громади області, час - 2019–2024. Основні змінні - інтенсивності на км²: TN_{km^2} , W_{km^2} , DW_{km^2} , AIR_{km^2} , MSW_{km^2} . Ми використовуємо двовимірні FE (α_i , τ_t) і лаг ключового предиктора на один період, щоб послабити симультантність:

$$Y_{it} = \alpha_i + \tau_t + \beta \cdot TN_{i,t-1} + u_{it} \quad (2.10)$$

$$TN_{it} = \alpha_i + \tau_t + \gamma \cdot Y_{i,t-1} + v_{it} \quad (2.11)$$

Стандартні похибки - кластер-робастні за громадами; для чутливості оцінюємо на підвибірці без промислово-енергетичних «важковаговиків» (Бурштинська, Калуська, Ямницька ТГ), що відповідає практиці прикладних панельних досліджень у регіональній економіці та економіці довкілля.

Картографічні методи використано для просторового відображення результатів екологічного оцінювання туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області. Їх застосування дозволило візуалізувати територіальний розподіл досліджуваних показників та виявити просторові відмінності у рівні антропогенного впливу на природне середовище. Картографування виконано на основі геоінформаційних систем (ГІС), що забезпечило поєднання статистичних даних з просторовою інформацією та дозволило проводити подальший просторовий аналіз.

У межах дослідження створено тематичні карти, які відображають розподіл туристичних потоків, питомого водокористування, скидів у водні об'єкти та показників якості атмосферного повітря на рівні територіальних громад. Картографічна візуалізація дала змогу виявити території з підвищеним туристичним навантаженням та встановити зони потенційного екологічного ризику.

Використання ГІС-технологій забезпечило точність відображення меж територіальних громад, інтеграцію різних типів просторових даних та побудову карт розподілу екологічних показників. Отримані картографічні матеріали стали основою для виявлення локальних осередків підвищеного антропогенного впливу та просторової інтерпретації результатів дослідження.

Висновки до розділу 2. Таким чином, обґрунтовано програму, методичний інструментарій, матеріали та об'єкти дослідження, необхідні для екологічного оцінювання туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області. Побудована програма дослідження охоплює послідовні теоретико-аналітичний, діагностичний, методичний, статистичний та інтеграційний етапи, що забезпечило логічний перехід від формування концептуальної основи роботи до одержання прикладних результатів і розроблення рекомендацій.

Визначено методичні засади гідрохімічної оцінки якості водних ресурсів у межах рекреаційно навантажених територій. Для дослідження р. Прут у межах м. Яремче сформовано профіль польових спостережень із фіксацією контрольних точок, гідрометеорологічних умов та GPS-координат. Використання портативного мультипараметрового обладнання дозволило оперативно оцінити показники кислотності, електропровідності, мінералізації та вмісту розчиненого кисню. Застосування коефіцієнтів зміни концентрацій, моделі експоненційного згасання мінералізації та розрахунків річної емісії забруднювальних речовин створило підстави для кількісної інтерпретації

самоочисної здатності водотоку та впливу антропогенного навантаження на поверхневі води.

Розкрито методику аналізу атмосферного повітря та дрібнодисперсних частинок у туристичних локаціях Івано-Франківської області. Обґрунтовано вибір маршрутної схеми спостережень на основі функціональної контрастності територій та виділення зон із низьким, середнім і високим рівнем антропогенного навантаження. Інструментальні вимірювання концентрацій PM_{2.5}, PM₁₀, CO, NO₂, формальдегіду, а також температури, вологості та вмісту кисню дали змогу оцінити фактичний стан повітряного середовища в туристичних дестинаціях. Застосовані підходи до статистичної обробки, міжгрупового порівняння та регресійного моделювання забезпечили можливість виявлення чинників, що визначають варіативність пилового навантаження, та кількісної оцінки його зв'язку з рівнем антропогенного впливу.

Систематизовано статистичні та картографічні методи аналізу. Показано, що використання статистичних моделей для аналізу даних різних територіальних громад у часовій динаміці дозволяє враховувати сталі відмінності між громадами, а також загальні часові зміни, що впливають на досліджувані показники. Це створило методичну основу для оцінювання зв'язку між туристичною активністю та екологічними параметрами в межах 2019–2024 років. Картографічні методи, реалізовані на основі ГІС, забезпечили просторове відображення туристичних потоків, питомого водокористування, скидів у водні об'єкти та показників якості атмосферного повітря. Побудовані тематичні карти дали змогу виявити просторову неоднорідність туристичного навантаження та локалізувати території підвищеного екологічного ризику.

Отже, сукупність використаних методів забезпечила комплексний характер дослідження та сформувала надійну методичну основу для подальшого аналізу туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області. Поєднання польових гідрохімічних спостережень, інструментального контролю якості атмосферного повітря, статистичного моделювання та геоінформаційного картографування створило можливість не лише оцінити

окремі компоненти довкілля, а й перейти до просторово-часового аналізу екологічних наслідків туристичної діяльності. Саме така методична база забезпечує обґрунтованість подальших результатів дисертаційного дослідження та їх придатність для формування практичних рекомендацій у сфері екологічної безпеки туристичних територій.

РОЗДІЛ 3.

ЕКОЛОГІЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ТУРИСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Метеорологічні й кліматичні фактори інфраструктурної стійкості

Готелі, ресторани, транспортні компанії та інші представники туристичної галузі використовують великі обсяги енергії для задоволення потреб своїх клієнтів, що спричинює негативний вплив на довкілля, оскільки більшість електроенергії на сьогоднішній день виробляється за допомогою використання невідновлюваних природних ресурсів.

Зокрема, нами розраховано, що за даними енергетиків, в середньому на одну людину припадає приблизно 11,47 кВт електроенергії споживання за добу. Відповідно до статистичних даних, туристи відвідали Івано-Франківську область та використали приблизно наступні обсяги електроенергії (при середньому перебуванні в області протягом трьох днів): у 2017 році – 24 млн.кВт-год (2,1 млн туристів); у 2018 році – 25,23 млн.кВт-год (2,2 млн туристів); у 2019 році – 22,9 млн.кВт-год (2 млн туристів); у 2020 році – 20,64 млн.кВт-год (1,8 млн туристів); у 2021 році – 22,9 млн.кВт-год (2 млн туристів) [180]. Наразі ТЕС України використовують наступні енергоносії: енергетичне кам'яне вугілля – 53%; природний газ – 41%; мазут – 6% [181].

Під час спалювання твердого палива в атмосферу викидаються такі речовини: сірчаний та сірчистий ангідриди, газоподібні продукти згорання, легкий попіл, оксид азоту, оксиди кремнію та кальцію, а також миш'як та радіоактивні елементи у певних випадках.

Електростанція потужністю 100 МВт, що працює на вугіллі, може мати щорічні викиди в атмосферу приблизно 5 тис. т SO_2 (за умови нейтралізації до 80%) та 10 тис. т NO_x . На поверхні землі в районі такої електростанції може утворитися близько 400 тис. т золи, яка містить приблизно 80 т важких металів, включаючи миш'як, свинець, кадмій, ванадій та інші, крім того теплова електростанція (ТЕС) потужністю 1 000 МВт споживає протягом року кількість

кисню, еквівалентну тій, яку може виділити за аналогічний період 101 000 гектарів лісового масиву [181]. Оптимізація енергоспоживання туристичного сектору потребує ширшого впровадження відновлюваних джерел, зокрема сонячних панелей, що забезпечують сталий розвиток регіону. Принцип їх дії ґрунтується на перетворенні сонячної енергії в електричну за допомогою фотоелементів із напівпровідниковими матеріалами, здатними генерувати струм при поглинанні фотонів. Ефективність роботи залежить від метеорологічних параметрів, передусім хмарності, кількості опадів, температури повітря та швидкості вітру [182]. У таблиці 3.1. наведено середню температуру повітря, зафіксовану в період з 2015 по 2022 роки. Дані отримані від станції метеорологічних спостережень Карпатська селестокова станція (м. Яремче) та виконаний базовий статистичний аналіз.

Таблиця 3.1.

**Середня температура повітря у 2015-2022 роках по днях
Карпатської селестокової станції, °С**

Місяць	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
січень	-0	-3.4	-5.7	-1.0	-3.3	+0.2	+0.2	-0.3
лютий	0	+3.8	-0.6	-3.4	+1.5	+2.5	+2.5	+2.1
березень	+4.1	+4.8	+6.6	-0.7	+5.6	+4.6	+4.6	+3.8
квітень	+8.5	+10.8	+8.8	+13.9	+9.8	+8.8	+8.8	+7.4
травень	+13.9	+14.1	+13.7	+16.5	+13.7	+11.7	+11.7	+14.9
червень	+17.7	+19.1	+18.5	+18.5	+20.9	+18.6	+18.6	+19.1
липень	+20.2	+20.0	+19.2	+19.7	+19.1	+19.1	+19.1	+20.1
серпень	+21.0	+18.6	+20,0	+20.2	+20.1	+15.3	+15.3	+20.0
вересень	+16.0	+16.3	+14	+15.1	+14.8	+15.3	+15.3	+12.7
жовтень	+7.5	+6.7	+9.7	+9.7	+9.7	+11	+11	+10.2
листопад	+5.0	+1.2	+3.4	+2.3	+5.9	+4.0	+4.0	+1.2
грудень	+2.5	-0.3	+1.9	-1.0	+1.8	+0.9	+0.9	-0.1

Джерело: складено автором на основі даних [183]

Як бачимо, відзначається тенденція до зростання середньої температури у більшості місяців з кожним наступним роком. Однак, були випадки, коли температура знижувалася у певних місяцях, наприклад, в лютому 2017 року температура становила -0.6°C , що на 4.4 градуса нижче, ніж у лютому 2016 року.

Значні коливання температури можуть впливати на ефективність сонячних панелей та виробництво сонячної енергії. Температура повітря має вплив на рівень виробництва електроенергії, оскільки тепло є фактором, який зменшує ефективність сонячних панелей. При зростанні температури панелі нагріваються і стають менш ефективними, що призводить до зменшення виробництва електроенергії.

Відобразимо зміни середньої місячної температури повітря у вигляді діаграми (рис.3.1).

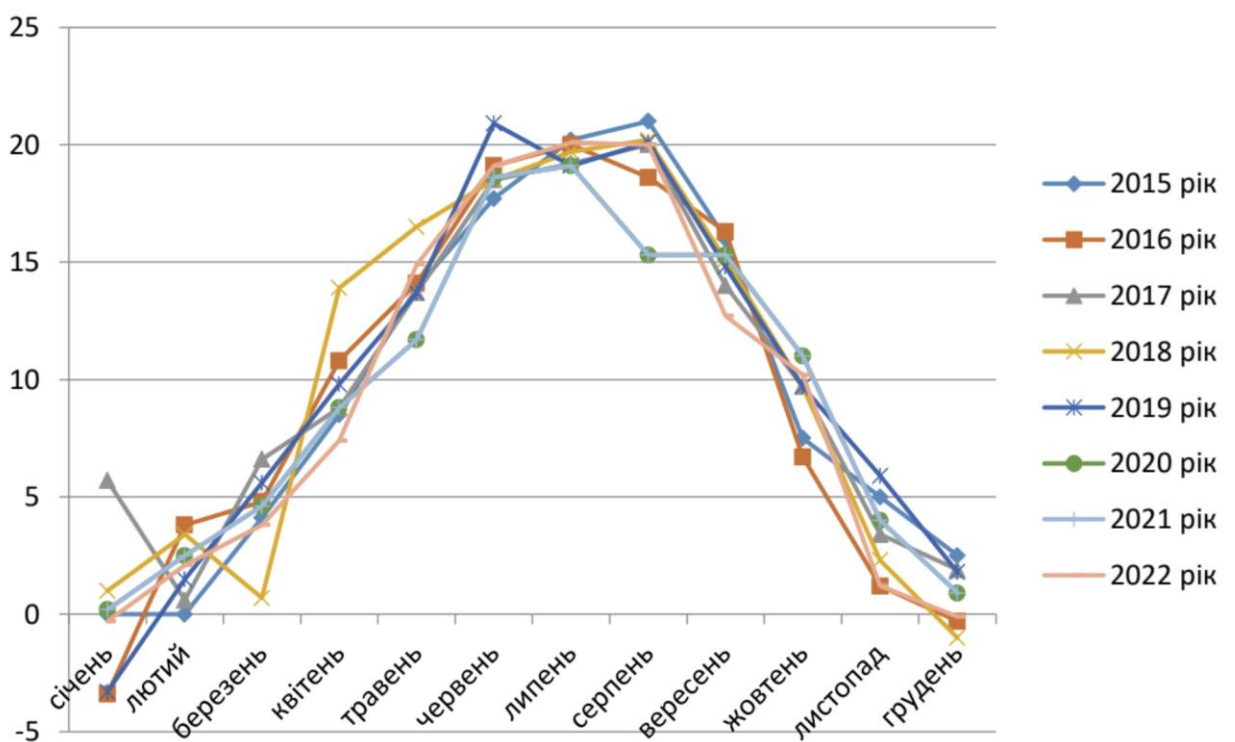


Рис.3.1. Динаміка зміни середньої місячної температури за 2015-2022 роки

Аналіз діаграми засвідчує стійку тенденцію до підвищення середньорічної температури повітря. За останні чотири десятиліття вона зростає приблизно на $+2$

°С, що створює передумови для зростання виробництва сонячної енергії у Прикарпатті в умовах глобального потепління. Для кількості опадів характерна протилежна динаміка: їх обсяг зменшується, а розподіл упродовж року стає дедалі нерівномірнішим [184,185] (таб.3.2).

Таблиця 3.2

Середня кількість опадів 2015-2022 роках, мм

Місяць	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
січень	30.6	27.2	9	36.6	36.3	13.5	39.4 м	24.6
лютий	21.7	23.1	24.5	45.8	14.6	59.7	42.1	11.5
березень	50.8	36.7	46.0	52.7	21.8	50.5	68.7	0
квітень	38.1	69.0	31.7	20.0	25.9	12.7	40.4	0
травень	80.9	98.6	71.9	43.6	235.3	124.5	92.2	17.7
червень	61.6	98.2	76.4	140.1	54.1	237.4	94.6	78.9
липень	37.3	59.8	83.3	95.2	90.1	21.9	153.0	50.6
серпень	8.4	37.7	51.0	29.2	16.6	114	54.1	63.8
вересень	49.4	34.2	174.2	43.2	47.1	114	27.1	180.7
жовтень	35.9	125.9	52.4	22.7	33.0	89.3	11.4	19.3
листопад	35.9	55.2	43.5	37.3	20.8	1	17.1	0
грудень	8.2	23.3	49.5	71.8	33.5	24	92.8	0

Джерело: складено автором на основі даних [183]

Зафіксовано значні річні коливання кількості опадів у 2015–2022 роках: максимум припадає на травень (медіана 80,9 мм), мінімум на січень 2022 року (0 мм). Середньомісячні показники варіюють у межах 8,2–235,3 мм, коливання безпосередньо впливають на ефективність сонячних панелей, оскільки обсяг опадів корелює з рівнем хмарності, що знижує вироблення електроенергії [186,187]. Додатковим чинником виступає швидкість вітру, яка визначає розподіл хмарності та інтенсивність сонячної радіації, що надходить на панелі (табл. 3.3).

Таблиця 3.3

Середня швидкість вітру у 2015-2022 роках, м/с

Місяць	2015 рік	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік	2021 рік	2022 рік
січень	3.0	2.3	2.6	2.5	2.6	2.3	2.1	4.0
лютий	1.9	3.1	3.0	2.1	3.3	3	3.1	3.1
березень	2.4	2.8	2.9	2.2	3.5	2.4	2.6	2.7
квітень	3.8	2.9	3.2	2.8	3.3	2.6	2.7	2.8
травень	2.6	2.2	2.0	2.3	2.8	3.3	3.0	2.6
червень	2.2	2.2	2.6	2.2	2.2	2.4	2.3	2.3
липень	2.0	2.6	2.0	2.5	2.3	1.6	2.0	2.6
серпень	1.8	2.2	2.1	1.7	1.8	1.6	1.6	1.7
вересень	2.4	2.0	2.2	2.2	2.3	1.6	2.5	2.2
жовтень	2.6	3.2	3.0	2.2	1.5	1.6	2.2	2.0
листопад	2.9	2.3	2.1	2.2	3.0	17.5	1.9	1.7
грудень	2.2	3.5	3.0	2.6	2.4	3.1	2.6	2.1

Джерело: складено автором на основі даних [183]

Середні значення коливаються від 1,5 до 4 м/с в залежності від місяця та року. Найвища середня швидкість вітру спостерігалася в січні 2022 року (4 м/с), тоді як найнижча - в липні 2020 року (1,6 м/с). Загалом, середня багаторічна швидкість вітру на Прикарпатті коливається в межах 2-3 м/с, на висоті вимірювання. Такі значення обмежують використання промислових вітрових електростанцій й вимагають більш детальних досліджень ефективності комбінованих комплексів з відновлюваних джерел енергії у туристичному секторі Карпатського регіону

Проаналізуємо показники вироблення сонячної енергії на прикладі СЕС в м. Тлумач потужністю 3 кВт, яка була встановлена за грантові кошти на даху бюджетної установи. Її показники роботи доступні в онлайн режимі (табл.3.3).

Таблиця 3.3

**Помісячне виробництво сонячної електроенергії за 2015-2022 роки,
тис.кВт·год**

Рік	місяць												Всього	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		
2015	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	37.89	59.19	30.48	31.78	159.35
2016	30.7	38	64.8	109.1	125.3	114.0	126.0	120.21	100.4	38.58	25.49	19.24	911.76	
2017	27.4	47.2	67.5	105.1	111.8	119.57	122.9	127.51 85.84		66.33	13.07	11.98	906.27	
2018	26.9	34.3	75.1	128.0	126.1	95.03	106.4	126.32	103.7	81.20	17.22	9.42	929.54	
2019	13.1	49.1	83.8	98.69	88.84	117.83	121.9	127.43	104.7	78.19	20.08	22.89	926.65	
2020	35.4	41.9	89.9	138.1	97.17	94.00	112.7	136.19	110.5	43.49	23.40	9.74	932.47	
2021	16.9	46.5	76.9	96.28	108.2	105.20	117.4	114.65 97.08		98.58	28.12	10.32	916.27	
2022	31.9	38.6	108	84.78	133.3	127.89	117.4	102.78 58.82		71.08	18.20	1.60	894.16	

Джерело: складено автором на основі даних [188]

Відобразимо результати у вигляді діаграми на рис. 3.2

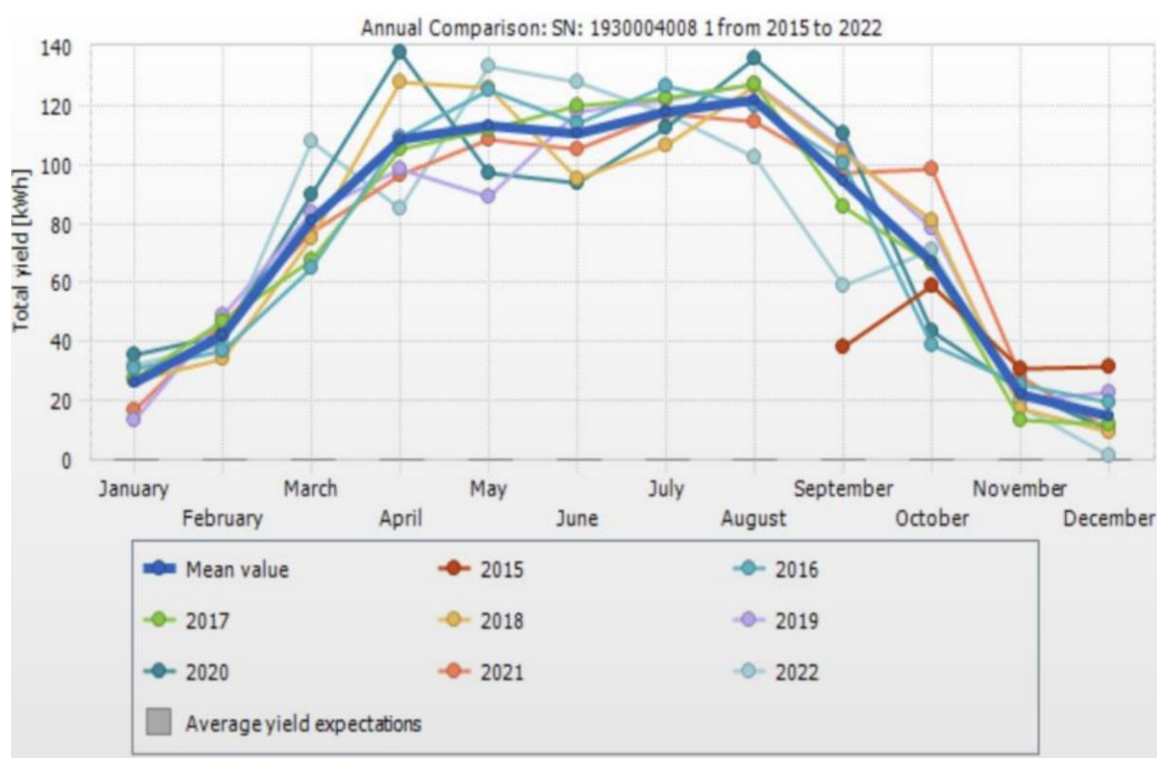


Рис.3.2. Графік вироблення сонячної енергії [188]

Загальне виробництво сонячної електроенергії зросло з 2015 року і досягло максимуму у 2020 році - 932,47 тис. кВт·год. Помісячні значення

варіювали залежно від комплексу метеорологічних факторів: найвищі показники зафіксовані у квітні–червні, що зумовлено ясною погодою та тривалістю світлового дня, найнижчі — у листопаді–грудні через хмарність та короткий день [189]. Для 2016 року (911,76 тис. кВт·год) характерними були температури $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ у січні та $+21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ у липні при опадах 30 і 102 мм відповідно. У 2020 році (рекордні показники) температура становила $-3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ у січні та $+20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ у червні при опадах 28 і 103 мм. Для виявлення залежностей проведено розрахунок кореляції між температурою, кількістю опадів, швидкістю вітру та обсягом виробництва електроенергії за середньомісячними даними 2015–2022 років (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

**Середнє значення для кожного параметра за кожний місяць протягом
2015-2018 років**

Місяць	Середня температура, $^{\circ}\text{C}$	Середня кількість опадів, мм	Середня швидкість вітру, м/с	Середня сонячна енергія, тис.кВт·год
Січень	-1.16	27.61	2.81	25.73
Лютий	1.75	31.62	2.69	42.66
Березень	4.39	44.57	2.60	82.35
Квітень	9.60	32.20	3.02	98.60
Травень	13.69	109.66	2.60	108.16
Червень	18.56	102.53	2.25	103.63
Липень	19.62	73.98	2.16	111.49
Серпень	18.66	58.32	1.81	97.87
Вересень	15.34	83.72	2.24	82.07
Жовтень	9.16	48.78	2.34	58.66
Листопад	3.61	27.48	2.48	27.40
Грудень	0.91	32.69	2.72	11.50

Для кількісної оцінки впливу кліматичних чинників на вироблення сонячної енергії побудовано множинну лінійну регресійну модель, що описує

залежність обсягів генерованої енергії від середньої температури повітря та кількості опадів за місяць. Емпіричну базу сформовано на основі усереднених за 2015–2022 роки показників метеостанції Карпатського регіону, які охоплюють середньомісячні значення температури, кількості опадів та вироблення сонячної електроенергії.

Отримане рівняння регресії має вигляд:

$$E = 27.57 + 3.66T + 0.15P,$$

де

E - середньомісячний обсяг виробленої сонячної енергії, тис. кВт·год;

T - середня температура повітря, °С;

P - середня кількість опадів, мм.

Регресійна поверхня впливу температури й опадів на вироблення енергії
 $E = 27.57 + 3.66T + 0.15P, R^2 = 0.75$

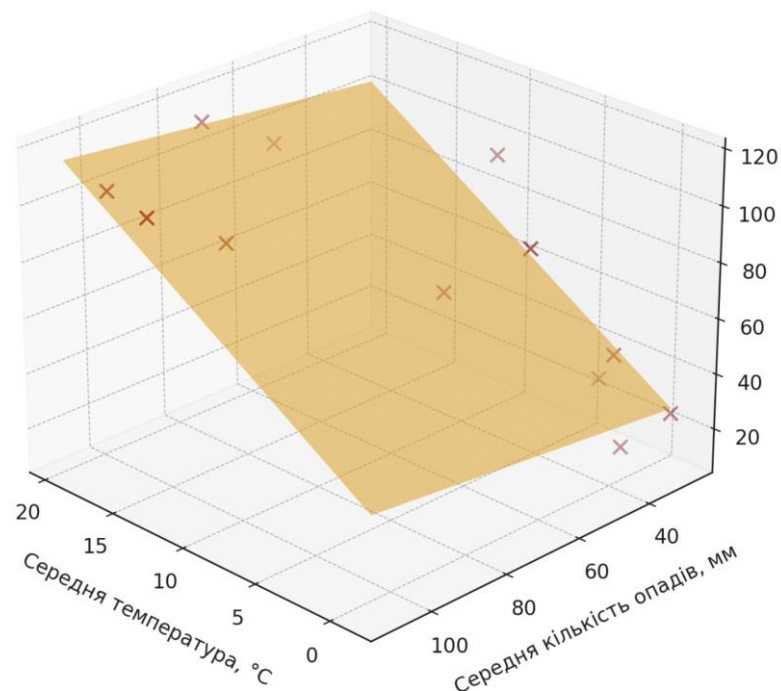


Рис.3.3. Регресійна модель впливу температури та опадів на виробництво сонячної енергії

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0.75$, що свідчить про високий рівень пояснювальної здатності моделі: близько 75 % варіації обсягів вироблення

сонячної енергії пояснюється зміною температури та кількості опадів (рис. 3.3). Візуалізація регресійної поверхні демонструє чітку позитивну залежність між температурою та виробництвом енергії зі зростанням температури інтенсивність генерації збільшується. Водночас опади мають незначний, але додатний вплив, що пояснюється переважанням періодів помірної хмарності над екстремальними дощовими явищами.

Отже, встановлено функціональну залежність між кліматичними параметрами та потенціалом сонячної генерації, що дозволяє прогнозувати сезонні коливання виробництва енергії в туристичних регіонах Карпат, що формує підґрунтя для оптимізації енергетичного балансу туристичної інфраструктури шляхом інтеграції кліматичних моделей у системи управління відновлюваними джерелами енергії. Сонячна енергетика могла б частково вирішити енергетичні проблеми туристичної галузі в Карпатському регіоні, особливо по енергопостачанню віддалених неелектрифікованих садиб, а в умовах нестабільного електропостачання, відключення електроенергії такі установки забезпечували б безперебійне електропостачання.

Таким чином, під час планування розташування сонячних електростанцій слід враховувати показники середньої температури повітря для оптимального розташування та ефективності роботи сонячних панелей.

3.2. Екологічне оцінювання впливу туристичного навантаження на якість атмосферного повітря

В рамках дослідження проведено визначення концентрацій дрібнодисперсних часток PM10 та PM2.5 у повітряному середовищі туристичних територій Івано-Франківської області, із подальшою класифікацією об'єктів спостереження за рівнем антропогенного навантаження на три категорії: низьке навантаження (рекреаційні зони); середнє навантаження (туристично-рекреаційні зони); високе навантаження (транспортні та торговельні зони) (табл. 3.5).

Таблиця 3.5.

Показники якості повітря в різних локаціях Івано-Франківської області (серпень 2024 р.)

№	Локація	Категорія навантаження	PM2.5 (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	НСНО, ppm	O ₂ , %	CO ₂ , ppm	°C	Відносна вологість, %
1	Парк історії Землі "Underhill"	Низьке навантаження	11.6	28.0	0.0	20.4	455	23.1	65
2	Лісова зона поруч з Underhill	Низьке навантаження	10.8	26.0	0.0	20.4	450	22.9	65
3	Підгір'я, житловий район	Низьке навантаження	11.2	24.0	0.0	20.4	454	23.3	64
4	Ресторан «Лейбова гора»	Середнє навантаження	12.0	25.0	0.01	20.2	435	23.9	61
5	Транспортна зона поблизу «Лейбова гора»	Середнє навантаження	12.5	29.0	0.01	20.2	435	24.1	61
6	Зона паркування біля входу в «Лейбова гора»	Середнє навантаження	13.0	31.0	0.01	20.2	435	24.1	61
7	Майдан Шевченка, Надвірна	Високе навантаження	13.0	32.0	0.0	20.4	444	23.5	67
8	вул. Гетьмана Мазепи, Надвірна	Високе навантаження	13.5	33.6	0.0	20.4	439	23.5	70
9	Центральний ринок, Надвірна	Високе навантаження	14.0	40.0	0.0	20.4	439	23.5	70
10	Зона біля фонтану в центрі Надвірної	Середнє навантаження	13.2	41.0	0.0	20.4	444	23.5	67
11	Заправка ОККО, Яремче	Високе навантаження	13.0	39.0	0.0	20.3	576	28.7	50.2
12	Сувенірний ринок, Яремче	Високе навантаження	13.0	35.0	0.0	20.4	502	29.1	49.2
13	MORVA Premium Spa Resort, Яремче	Середнє навантаження	14.0	38.0	0.01	20.3	494	29.3	42.6
14	Готель Станіславський, Яремче	Середнє навантаження	13.0	40.0	0.02	20.4	499	29.4	47.7
15	Торгова зона поруч із залізничною колією, Яремче	Високе навантаження	13.5	37.0	0.02	20.4	480	29.4	47.5
16	вул. Свободи, Яремче	Високе навантаження	13.8	38.5	0.02	20.4	440	29.4	47.9
17	Паркінг №1, Поляниця	Високе навантаження	19.0	39.2	0.02	20.4	442	24.7	50.7
18	Озеро Молодості, Буковель	Середнє навантаження	12.0	30.0	0.01	20.4	412	26.0	46.3
19	Колесо огляду, Буковель	Середнє навантаження	11.0	25.0	0.01	20.2	420	30.1	49.3
20	Ресторан Сяєво, Буковель	Середнє навантаження	8.0	22.0	0.01	20.2	424	29.8	48.5
21	Паркінг №2, Буковель	Високе навантаження	17.0	23.0	0.01	20.2	456	29.8	48.9
22	В'їзд у Буковель	Високе навантаження	16.5	29.0	0.01	20.2	429	29.8	48.2
23	Гірськолижна зона, Буковель	Середнє навантаження	10.5	28.5	0.01	20.2	424	29.8	48.5
24	Віддалена зона Буковель	Низьке навантаження	9.0	24.0	0.01	20.2	438	29.8	48.5

Джерело: розроблено автором

Визначення фонових концентрацій здійснюється відповідно [190], чинного у редакції 2021 року. Документ діє з 1 березня 2000 року та визначає базові

нормативи допустимого вмісту хімічних речовин у повітрі, зокрема таких небезпечних для здоров'я людини компонентів як PM2.5, PM10, формальдегід, оксид вуглецю та діоксид азоту, становлених, рекомендованими World Health Organization [191] (таб.4.6, Рис.3.4).

Таблиця 3.6.

Порівняння з допустимими нормами

Показник	Середнє значення (високе навантаження)	Норма в Україні (ГДК)	Висновок
PM2.5	14.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	до 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (середньодобова)	В межах норми
PM10	34.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	до 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (середньодобова)	В межах норми
CO ₂	464.7 ppm	орієнтовно до 1000 ppm (вентиляційні рекомендації)	В межах норми
НСНО	≤ 0.02 ppm	до 0.035 ppm	В межах норми

Джерело: розроблено авторами з урахуванням [190]

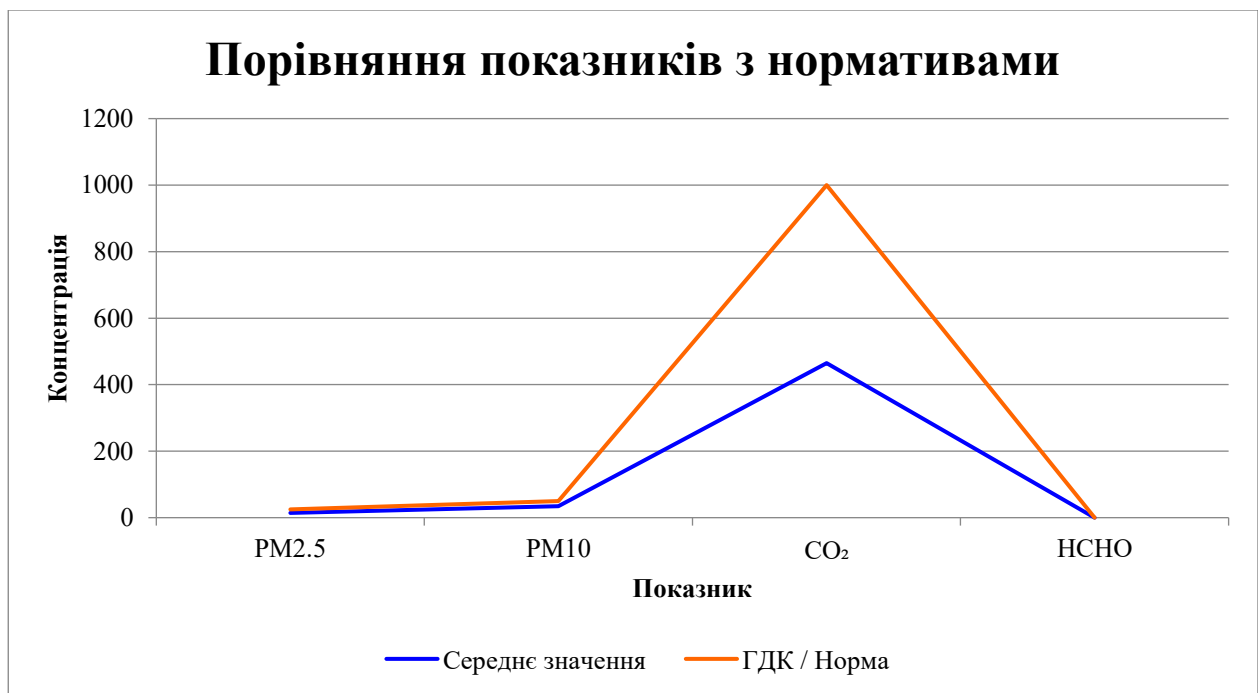


Рис. 3.4.. Порівняння з допустимими нормами

Джерело: розроблено авторами з урахуванням [190]

Середня концентрація PM2.5 становила 14,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, що нижче за добову ГДК 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а PM10 – 34,63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ при допустимому рівні 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Обидва показники залишалися в межах нормативів, що свідчить про відсутність критичного забруднення твердими частинками. Рівень CO₂ склав 464,7 ppm, що

відповідає санітарним нормам для місць масового перебування, а концентрація формальдегіду перебувала у межах 0,00–0,02 ppm при допустимих 0,035 ppm.

Усі параметри залишалися в межах нормативів, що підтверджує відносно сприятливий стан атмосферного повітря у туристичних локаціях регіону. Для моделювання залежності між PM10 і PM2.5 використано поліноміальну регресію четвертого порядку, що відображає нелінійні взаємозв'язки. Додатково враховано категоріальну змінну «рівень навантаження» у вигляді бінарних предикторів, де високий рівень прийнято за базовий (рис. 3.5).

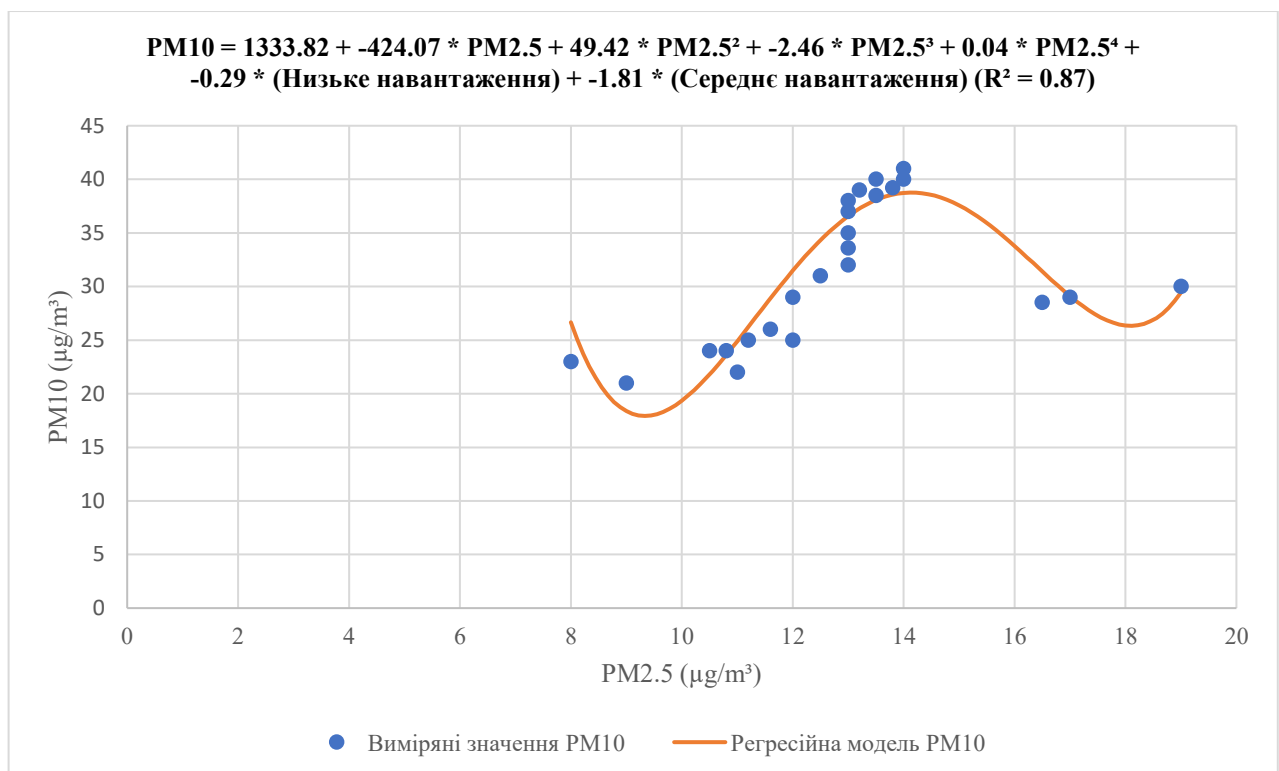


Рис.3.5. Залежність концентрації PM10 від PM2.5 у туристичних локаціях Івано-Франківської області

Примітка: поліноміальна апроксимація 4-го порядку, R² = 0.87

Джерело: розроблено авторами

Враховуючи, що відносна вологість повітря впливає на поведінку, агрегацію та депозицію аерозольних частинок, аналіз її взаємозв'язку з концентрацією PM2.5 є обґрунтованим для глибшого розуміння механізмів формування якості повітря у туристичних зонах. Підвищення відносної

вологості може сприяти конденсації водяної пари на поверхні часток PM2.5, збільшуючи їхній розмір та змінюючи властивості осадження, що, у свою чергу, впливає на концентрацію часток у повітрі. З іншого боку, надмірна вологість може спричиняти вимивання часток із атмосфери, знижуючи їх вміст. Тому встановлення характеру взаємозалежності між цими параметрами є необхідним для оцінки екологічного стану туристичних територій і потенційного ризику для здоров'я людей (Рис. 3.6.)

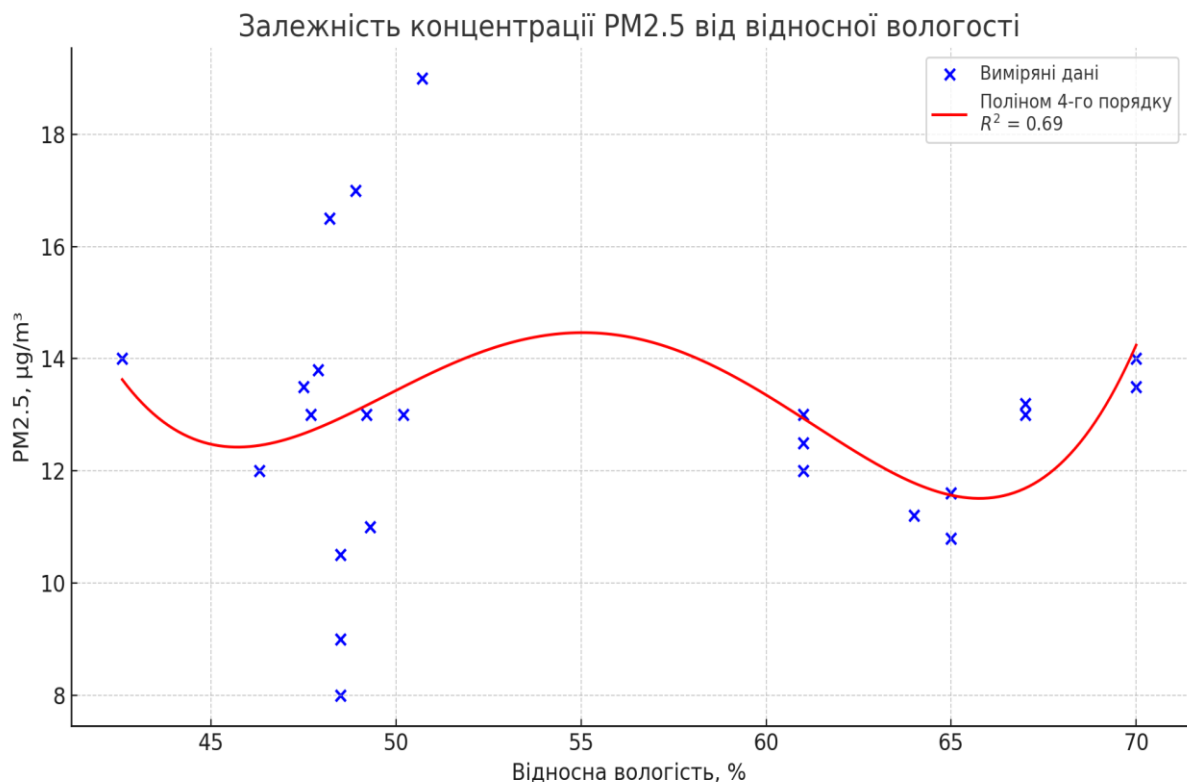


Рис. 3.6. Поліноміальна регресія залежності концентрації PM2.5 від відносної вологості повітря у туристичних локаціях Івано-Франківської області

Джерело: розроблено автором

У ході регресійного аналізу виявлено виражену залежність між концентрацією PM2.5 та відотною вологістю ($R^2 = 0,69$), що пояснює 69 % варіації цього показника. Збільшення вологості сприяє зниженню концентрацій завдяки процесам осадження аерозолів, проте за високих рівнів вологи спостерігається вторинне зростання, ймовірно зумовлене агрегацією часток і

гетерогенними реакціями. Аналогічні тенденції описані у роботах Rodríguez-Alcántara J.S. [191] та Pásková M. [192].

Поліноміальна регресія між PM_{2.5} і PM₁₀ ($R^2 = 0,87$) підтвердила тісний нелінійний зв'язок між маркерами аерозольного забруднення, що узгоджується з висновками Адаменка С. Я. [193]. Включення змінної антропогенного навантаження поглибило розуміння просторової динаміки: у транспортно-торговельних зонах рівні РМ значно перевищують показники рекреаційних територій.

Таким чином, контроль за концентраціями PM_{2.5} і PM₁₀ у туристичних регіонах є пріоритетним завданням екологічної політики. Системний моніторинг та інтеграція його результатів у просторове планування забезпечують підвищення стійкості рекреаційних територій і збереження їх туристичної привабливості.

3.3. Екологічне оцінювання впливу туристичного навантаження на якість водних ресурсів

Дослідження якості води виконувалось із використанням портативного багатофункціонального приладу Water-qualitymeter AZ 8603K, який забезпечує оперативні вимірювання кислотності (рН), мінералізації (електропровідності) та концентрації розчиненого кисню (DO). Показник рН відображає кислотно-лужний баланс, електропровідність визначає загальний вміст розчинених солей, а DO є ключовим маркером екологічної якості води, що визначає життєздатність гідробіонтів.

Метою дослідження була оцінка ефективності процесів самоочищення річки Прут у межах туристичного центру м. Яремче. Відбір проб здійснювався у десяти контрольних точках на відстані 0–90 м нижче водоспаду Пробій. Методика експрес-аналізу надала можливість оперативно оцінити стан водного середовища в умовах інтенсивного туристичного навантаження. Усі вимірювання виконувались відповідно до вимог ДСТУ 4287:2004 щодо польової гідрохімії та моніторингу поверхневих вод.

Проби води були відібрані з річки Прут, що протікає через основні туристичні центри, такі як Яремче (таб.3.7).

Таблиця 3.7.

Показники якості води річки Прут від водоспаду Пробій (0–90 м)

№	Відстань, м	Локація	Координати (широта, довгота)	Мінералізація, мг/л	Розчинений кисень, мг/л	Очищення за мінералізацією, %	Очищення за киснем, %
1	0	Водоспад Пробій (початкова точка)	48.439425, 24.539593	700	40.9	0.0	0.0
2	10	Річка Прут, нижче на 10 м	48.438123, 24.540404	525	58.2	25.0	42.3
3	20	Річка Прут, нижче на 20 м	48.438600, 24.539700	380	70.3	45.71	71.88
4	30	Річка Прут, нижче на 30 м	48.438123, 24.540404	251	93.3	64.14	128.12
5	40	Річка Прут, нижче на 40 м	48.437800, 24.540800	260	95.1	62.86	132.52
6	50	Річка Прут, нижче на 50 м	48.437500, 24.541100	275	97.0	60.71	137.16
7	60	Річка Прут, нижче на 60 м	48.437200, 24.541400	310	96.3	55.71	135.45
8	70	Річка Прут, нижче на 70 м	48.436900, 24.541700	308	95.5	56.0	133.5
9	80	Річка Прут, нижче на 80 м	48.436600, 24.542000	320	95.0	54.29	132.27
10	90	Річка Прут, нижче на 90 м	48.436300, 24.542300	380	96,0	45.71	134.72

Норми якості води для водойм рекреаційного та господарського призначення (в Україні) відображено у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8.

Норми якості води для водойм рекреаційного та господарського призначення (в Україні)

Показник	ГДК / норматив	Джерело / уточнення
Мінералізація	до 1000 мг/л (загальна мінералізація)	ДСТУ 4077-2001
Розчинений кисень	не менше 4–6 мг/л	ДСТУ 4808:2007

З метою об'єктивної кількісної оцінки процесів самоочищення річки Прут на ділянці протяжністю 90 метрів від водоспаду Пробій здійснено розрахунок

коефіцієнтів очищення за двома ключовими гідрохімічними показниками - мінералізацією та концентрацією розчиненого кисню. Обчислення проводилися відповідно до класичної формули визначення відносної зміни концентрації речовини у водному середовищі наведеної у п.п2.3:

Початкові значення концентрацій становили 700 мг/л для мінералізації та 40.9 мг/л для розчиненого кисню. Подальші розрахунки демонструють інтенсивне зниження мінералізації у перші 30 метрів, що відповідає очищенню на 64.14 % на цій ділянці, після чого показник поступово зростає, що, ймовірно, свідчить про ремінералізацію або вторинне збагачення води за рахунок стоку з берегів і дна. Концентрація розчиненого кисню водночас зростала протягом усього профілю, досягаючи 96.0 мг/л на відстані 90 метрів, що відповідає очищенню понад 130 %.

Динаміка підтверджує високий рівень турбулентного насичення киснем у дослідженій ділянці, що свідчить про ефективність природних процесів самоочищення у верхів'ї Прута (рис.3.7).

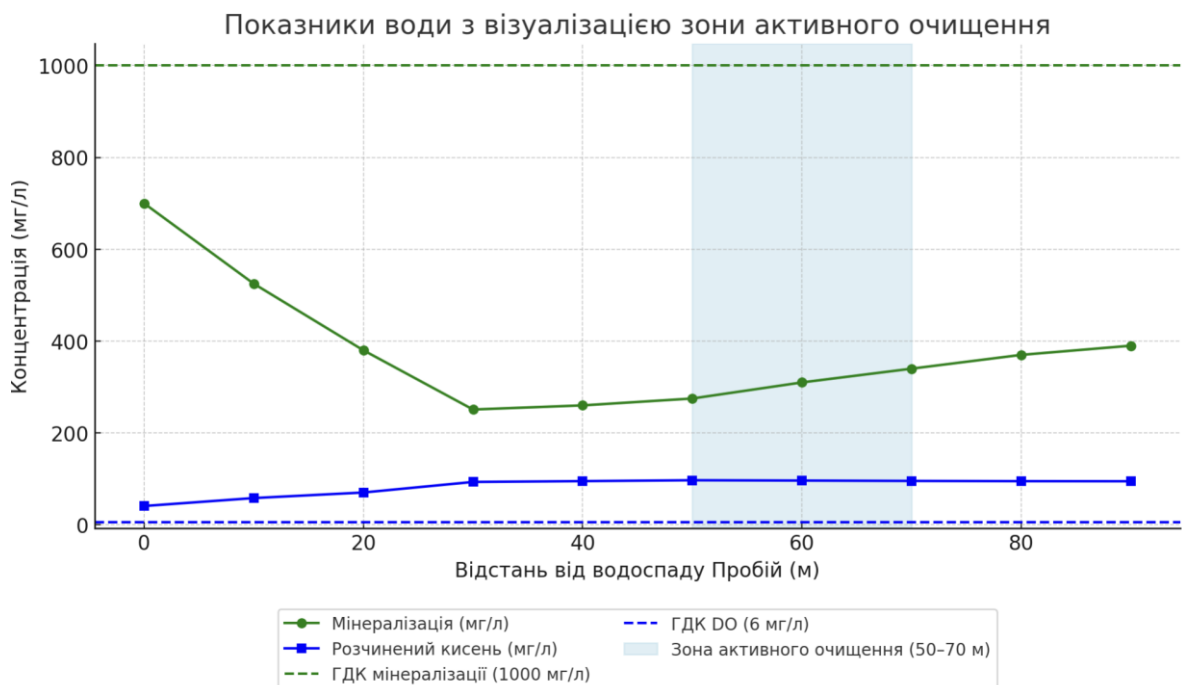


Рис.3.7. Показники води з візуалізацією зони активного самоочищення

З метою комплексної оцінки екологічного стану річки Прут у межах міста Яремче здійснено порівняльний аналіз власних вимірювань якості води з

результатами офіційного моніторингу, проведеного Державним агентством водних ресурсів України, адже, таке зіставлення дозволяє визначити не лише локальні коливання гідрохімічних показників у контексті туристичного навантаження, але й загальний рівень відповідності результатів польових експрес-вимірювань даним систематичних лабораторних досліджень.

Джерелом офіційної інформації слугували матеріали моніторингу вод, оприлюднені Держводагентством для пункту спостережень «р. Прут, 896 км, м. Яремче, лівий берег». Дата останнього відбору проб – 24 вересня 2024 року. У переліку показників наведено концентрації завислих речовин, загального азоту, іонів сульфатів, хлоридів, амонію, нітратів, фосфатів, нітритів, а також рівень розчиненого кисню та біохімічного споживання кисню (БСК₅). Усі показники не перевищували встановлені гранично допустимі концентрації, що свідчить про загальну екологічну безпечність води в цій точці моніторингу (рис.3.8).

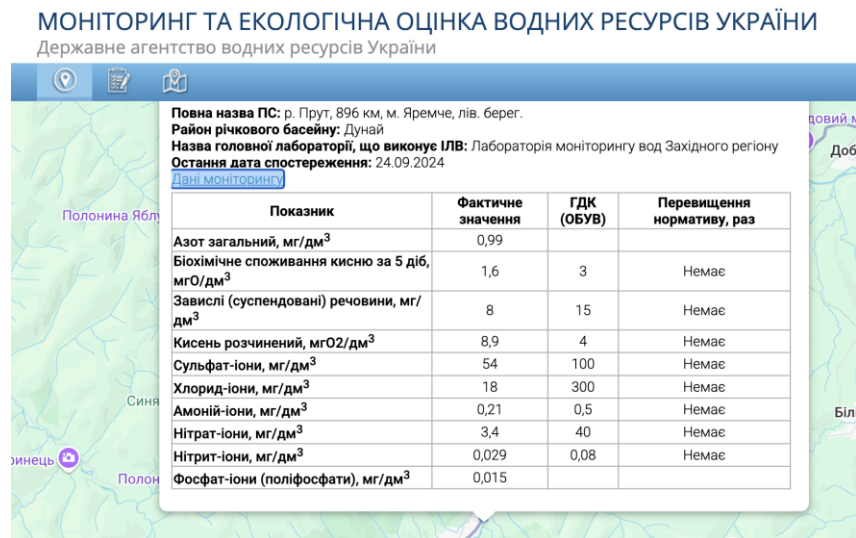


Рис.3.8. Моніторинг якості води (р. Прут, м. Яремче, 24.09.2024)
за даними Державного агентства водних ресурсів України [195]

Згідно з даними Держводагентства, концентрація розчиненого кисню у день моніторингу становила 8,9 мг/л, що відповідає нормативам. У власних вимірюваннях зафіксовано значно вищі значення (до 96,0 мг/л), зумовлені відбором проб поблизу водоспаду, де інтенсивне перемішування та аерація

спричиняють природне насичення води киснем. Високі показники не свідчать про аномалії, а відображають специфіку гідродинамічних процесів у зонах турбулентності.

Порівняльний аналіз підтверджує надійність польових досліджень і доцільність їх використання в оперативному екологічному моніторингу. Результати демонструють екологічно сприятливий стан вод річки Прут у туристичній зоні Яремче в серпні–вересні 2024 року та формують основу для подальшого вивчення впливу туристичного навантаження на водні ресурси.

Додатково проведено аналіз динаміки концентрації розчиненого кисню за календарний 2024 рік. Щомісячні дані Держводагентства засвідчили коливання у межах 8,3–13,2 мгО₂/дм³, при цьому жодного разу показники не опускалися нижче нормативного рівня 4,0 мгО₂/дм³ (рис. 3.9).

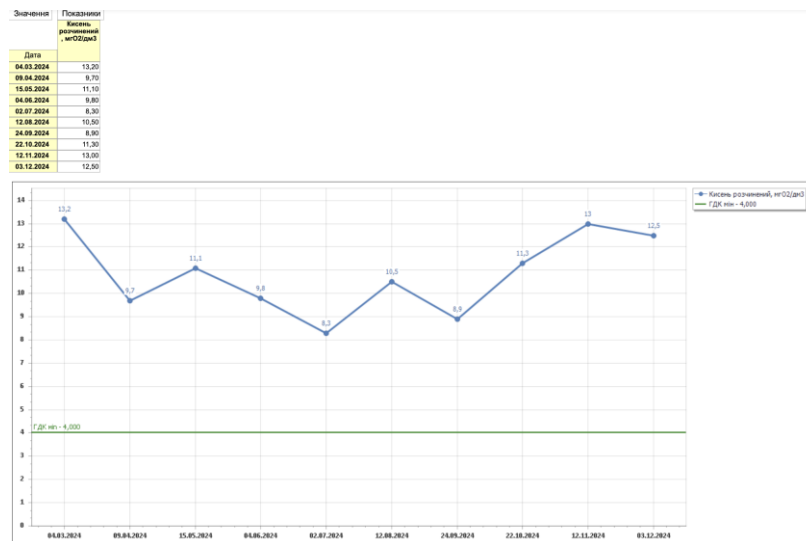


Рис.3.9. Динаміка розчиненого кисню в річці Прут у межах м. Яремче за даними Лабораторії моніторингу вод Західного регіону (2024 р.). Зеленою лінією позначено гранично допустимий рівень (ГДК = 4.0 мгО₂/дм³).

Джерело: <https://monitoring.davr.gov.ua/>

Аналіз змін протягом року дозволяє виявити чітку сезонну залежність концентрації розчиненого кисню. У весняно-осінній період (березень–травень, жовтень–грудень) фіксуються вищі значення, що пояснюється пониженням

температури води, активним перемішуванням потоку та зростанням здатності води до насичення киснем. Натомість у літній період (червень–серпень), коли температура підвищується, концентрація кисню дещо зменшується, досягаючи мінімуму в липні ($8.3 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$), що, втім, залишається в межах екологічної норми.

Таким чином, спостерігається пряма залежність вмісту розчиненого кисню від гідрометеорологічних умов, насамперед температурного режиму та швидкості течії. Отримані результати узгоджуються з теоретичними положеннями гідроекології та підтверджують ефективність системного державного моніторингу якості водних ресурсів.

З метою опису процесу самоочищення води за показником мінералізації на ділянці річки Прут довжиною 90 м після водоспаду Пробій у м. Яремче була побудована регресійна модель на основі експоненційного згладжування. Спостережувані дані свідчать про стрімке зниження мінералізації в перші 30 метрів потоку з подальшим стабілізаційним ефектом, що є характерним для дифузійно-турбулентних процесів у річкових системах з високим градієнтом енергії.

Математична модель приймає вигляд:

$$M(x) = a \cdot e^{-bx} + c$$

де:

$M(x)$ - мінералізація води (мг/л) на відстані x метрів від водоспаду;

a , b , c - параметри моделі, що визначають форму кривої (емпірично підібрані на основі даних);

e - основа натурального логарифма (приблизно 2.718);

x - відстань у метрах від точки спаду води;

Модель гідрохімічної динаміки річки Прут у межах Яремчанської громади побудована для кількісного опису процесів самоочищення після гідродинамічного збурення у водоспаді Пробій. Спостереження показали різке

зниження рівня мінералізації води на ділянці 0–30 метрів нижче від місця падіння, що обґрунтовує використання функції експоненційного згасання для формалізації зменшення концентрацій солей залежно від відстані від джерела збурення.

Важливим чинником є турбулентне розведення, зумовлене перемішуванням води з повітрям під час падіння, що призводить до інтенсивної аерації, зростання вмісту кисню та зменшення мінералізації у перші 10–15 метрів нижче від водоспаду. Додаткову роль відіграє гравітаційне осадження завислих частинок, яке найактивніше проявляється на ділянці до 30 метрів, після чого система переходить у фазу стабілізації. Молекулярна та турбулентна дифузія сприяють вирівнюванню концентраційних градієнтів і поступовому досягненню гідрохімічної рівноваги, що відображається в моделі через асимптоту експоненційної функції.

Обрана математична форма дозволяє не лише адекватно описати емпіричні дані, а й застосовувати модель для прогнозування змін у гідрохімічному складі під впливом зовнішніх факторів. Зростання туристичного навантаження, зміни кліматичних параметрів або посилення техногенного впливу можуть модифікувати інтенсивність процесів аерації, осадження та дифузії. У такому випадку експоненційна функція є інструментом для передбачення потенційних ризиків і визначення порогових значень, за яких відбуватиметься деградація екологічного стану водного середовища.

Для емпіричної перевірки рівняння використано метод найменших квадратів у середовищі Excel, що дозволило оптимізувати параметри моделі та досягти високої відповідності між розрахунковими і фактичними даними, що підтверджує статистичну коректність обраного підходу й доводить доцільність інтеграції моделі у систему гідроекологічного моніторингу та управління туристичними територіями Карпатського регіону.

$$M(x) = 450 \cdot e^{-0.07x} + 250$$

де, $C(x)$ - концентрація мінералів на відстані x від початкової точки (мг/л);

$a = 450$ - амплітуда початкового зменшення мінералізації;
 $b = 0,07$ - коефіцієнт швидкості очищення (зменшення);
 $c = 250$ - асимптотичне значення мінералізації, нижче якого показник не зменшується (базовий рівень).

На основі моделі побудовано графік, що демонструє згасання мінералізації із віддаленням від джерела турбулентного збурення (рис.3.10). Крива демонструє логічну гідрохімічну поведінку - швидке зниження мінералізації до приблизно 30 м, після чого концентрація стабілізується, що може вказувати на межу ефективної дії турбулентної аерації та змішування.

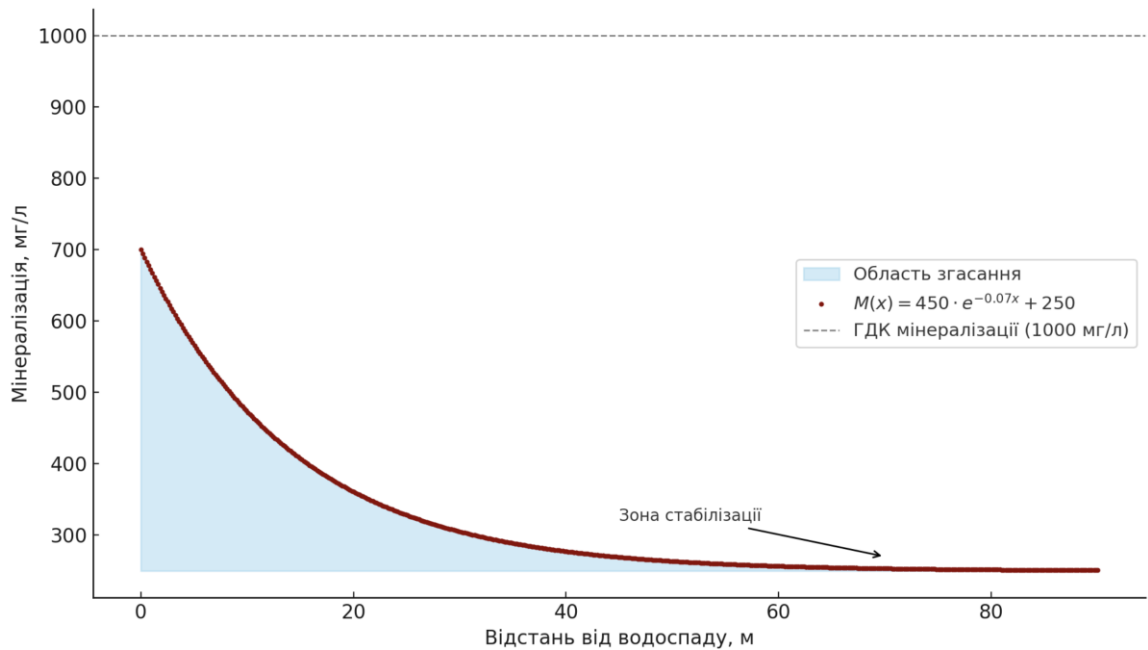


Рис.3.10. Згасання мінералізації із віддаленням від джерела турбулентного збурення

Обґрунтування вибору експоненційної функції базується на фізичних процесах у водному потоці: гравітаційне осадження та інтенсивна аерація у перші десятки метрів, подальше вирівнювання концентрацій та наближення до фонові рівноваги.

Емісійний підхід є теж важливим для об'єктивної оцінки впливу туризму на річкові системи, оскільки дає змогу кількісно виміряти винос речовин і

прогнозувати навантаження, на відміну від простого спостереження за якістю води. У басейні Прута, що охоплює Яремче, Микуличин і Буковель, сезонні коливання туристичних потоків у 2–3 рази підсилюють тиск на водопостачання, каналізацію й формують додаткові обсяги дифузного забруднення, особливо від об'єктів, не підключених до централізованих мереж.

Формула розрахунку:

$$E = \frac{N \cdot e \cdot (1 - \eta) \cdot 365}{1000}$$

де,

E - річна емісія забруднювача, т/рік

N - чисельність населення (осіб)

e - питомий викид речовини на одну особу за добу, г/добу

η - коефіцієнт ефективності очистки (від 0 до 1)

365 - кількість днів у році

1000 - коефіцієнт для переведення грамів у тонни

Підставлені дані:

Постійне населення: 23165 осіб

Туристи за рік: 1000000 осіб

Питомі викиди:

БСК₅ - 60 г/добу

Азот загальний - 9.9 г/добу

Фосфат-іони (поліфосфати) - 0,15 г/добу

Ефективність очистки: 70 % (частка, що не очищується - 30 %)

Кількість днів у році: 365

Переведення грамів у тонни: /1000

Результати розрахунків відображено у таблиці 3.9

Результати розрахунків

Показник	Постійне населення (т/рік)	Туристи (т/рік)
БСК ₅	152 194,05	6 570 000,00
Азот загальний	25112,02	1084050,00
Фосфор загальний	380,49	16425,00

Згідно з проведеними розрахунками, загальні обсяги емісії забруднюючих речовин у водні об'єкти від постійного населення та туристів Яремчанської громади мають суттєву різницю, яка демонструє екологічну вразливість регіону в умовах сезонного навантаження.

Зокрема, щорічне антропогенне навантаження від постійного населення (23 165 осіб) становить приблизно 152,2 тонн за показником біохімічного споживання кисню (БСК₅), 22,32 тонн загального азоту та 6,34 тонн фосфатів. Натомість, при кількості туристів, що досягає 1 000 000 осіб на рік, надходження до водних об'єктів потенційно може досягати 6570 тонн БСК₅, 963,6 тонн загального азоту та 273,75 тонн фосфатів за рік. Варто зазначити, що в розрахунках враховано ефективність очищення лише на рівні 70 %, тобто 30 % усіх викидів лишаються неочищеними і потрапляють у природне середовище.

Результати демонструють майже 43-кратне перевищення забруднюючого впливу з боку туристів порівняно з постійним населенням і пояснюється як абсолютною чисельністю відвідувачів, так і тим, що туристи концентруються у відносно короткі періоди, створюючи пікові навантаження на інфраструктуру. Наслідком є підвищення ризику евтрофікації водойм, деградації екосистем, а також ускладнення умов водопідготовки та рекреаційного використання.

Таким чином, отримані результати обґрунтовують необхідність запровадження комплексної системи управління водними ресурсами у туристичних регіонах Карпат, що включає в себе підвищення рівня централізованого очищення стічних вод, створення буферних зон біля річок, контроль за несанкціонованими джерелами дифузного забруднення та інтеграцію сезонних прогнозів навантаження у водогосподарське планування.

Результати експериментального дослідження засвідчили закономірне зниження мінералізації води річки Прут із віддаленням від водоспаду Пробій у Яремче. Модель експоненційного згасання підтвердила наявність зони активного розведення у межах перших 30 м після збурення, де домінують процеси аерації та гравітаційного осадження. Далі параметри стабілізуються, що характерно для гірських річок із кам'янистим руслом. Обчислене емісійне навантаження свідчить про суттєву різницю між впливом постійного населення (152 т БСК₅, 22 т азоту, 6 т фосфатів на рік) та туристичного потоку (6570 т БСК₅, 963 т азоту, 274 т фосфатів), що підкреслює вирішальну роль сезонності у формуванні екологічного тиску й потребу адаптивного регулювання очисних систем.

Отримані результати узгоджуються з висновками Б. Я. Бойчука, А. Д. Кузика та Л. В. Сиси [196] щодо підвищення органічного й біогенного навантаження на Прут у Яремче, а також із моделями А. В. Кондратюка [197], які підтвердили критичні точки забруднення у малих річкових системах. Порівняльні дослідження П. Царика, І. Вітенка та В. Царика [198], а також Bosak et al. [199] засвідчили вразливість басейнів до накопичення речовин у туристично навантажених регіонах. Подібні просторові закономірності відзначили Liao et al. [200] для річкових систем Китаю.

Таким чином, інтеграція експериментального моделювання та емісійного аналізу створює наукове підґрунтя для управління водними ресурсами в умовах високого туристичного тиску, що особливо актуально для Яремчанщини, де річкові системи поєднують природну цінність та вразливість екологічного балансу.

Висновки до розділу 3. Проведене дослідження дало змогу комплексно оцінити взаємозв'язки між кліматичними, метеорологічними та екологічними параметрами функціонування туристичної системи Карпатського регіону. Встановлено, що зростання середньорічної температури повітря та зниження кількості опадів формують нові умови для використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної. Розрахована множинна лінійна регресія підтвердила статистично значущу залежність між середньою температурою, кількістю опадів і обсягами виробництва сонячної електроенергії ($R^2 = 0,75$), що дає підстави стверджувати про наявність функціональної кореляції між кліматичними факторами та енергетичним потенціалом туристичної інфраструктури. Вперше для Івано-Франківської області побудовано тривимірну регресійну поверхню, яка візуалізує вплив температури та опадів на генерування сонячної енергії у часовому розрізі 2015–2022 років.

У межах другого підрозділу встановлено, що туристично активні території регіону характеризуються середніми концентраціями $PM_{2.5}$ ($14,63 \mu g/m^3$) та PM_{10} ($34,63 \mu g/m^3$), які не перевищують нормативних меж, проте демонструють просторову поляризацію забруднення залежно від рівня антропогенного навантаження. Поліноміальна регресія четвертого порядку між $PM_{2.5}$ і PM_{10} ($R^2 = 0,87$) підтвердила наявність нелінійних зв'язків між маркерами аерозольного забруднення, що дозволяє використовувати їх як інтегральні індикатори якості атмосферного повітря у туристичних центрах Карпат. Додатковий аналіз впливу вологості показав обернену залежність концентрацій твердих часток від рівня вологості, що узгоджується з процесами конденсації та осадження аерозолів.

Гідроекологічний блок дослідження продемонстрував ефективність природних процесів самоочищення річки Прут у межах м. Яремче. У межах дослідження розроблено математичну модель самоочищення водотоку, що описує зміну мінералізації води вздовж русла після зони турбулентного впливу водоспаду Пробій. Експоненційна функція відображає закономірність просторового зниження концентрації розчинених речовин і показує скорочення мінералізації приблизно на 64 % у межах перших 30 м від водоспаду. Отриманий

результат свідчить про інтенсивну дію природних механізмів відновлення гідрохімічної рівноваги, зокрема турбулентної аерації та дифузійного перемішування водних мас. Порівняльний аналіз із даними Державного агентства водних ресурсів підтвердив екологічну сприятливість водних ресурсів регіону. Водночас емісійні розрахунки виявили суттєве зростання навантаження на водні об'єкти від туристичного потоку (6570 т БСК₅, 963 т азоту, 274 т фосфатів на рік), що перевищує аналогічний показник від постійного населення більш ніж у 40 разів.

Узагальнюючи результати моделювання, можна зробити висновок, що кліматичні зміни, зростання температури та нерівномірність опадів безпосередньо впливають на ефективність енергоспоживання та формування екологічних ризиків у туристичній діяльності Карпатського регіону. Розроблені регресійні моделі мають практичне значення для прогнозування впливу кліматичних параметрів на відновлювану енергетику, управління якістю повітря та водних ресурсів. Отримані результати формують наукове підґрунтя для розроблення регіональних стратегій екологічної безпеки туризму, інтеграції кліматичних моделей у системи просторового планування та впровадження адаптивних механізмів управління сталим розвитком Карпатського регіону.

РОЗДІЛ 4.

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ТА ПРОБЛЕМ РОЗВИТКУ ТУРИСТИЧНОЇ СФЕРИ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД ІВАНО- ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

4.1. Просторово-функціональний профіль територіальних громад області: туристичний попит та екологічні навантаження

Туризм трактується як соціально-економічне явище, що інтегрує значну кількість галузей матеріального та нематеріального виробництва і формує комплексний мультиплікативний ефект у регіональному та національному розвитку. У системі національних рахунків туризм не має статусу самостійної галузі, що створює методологічні труднощі для визначення його фактичного внеску у валовий внутрішній продукт і суміжні макроекономічні показники.

З метою вирішення зазначеної проблеми у міжнародній статистичній практиці впроваджено методологію Tourism Satellite Account (TSA), розроблену під егідою UNWTO, OECD, Євростату та Статистичної комісії ООН. TSA забезпечує інтеграцію даних з боку попиту, які відображають витрати відвідувачів, і даних з боку пропозиції, що характеризують виробництво товарів і послуг туристичного спрямування [170-171].

Методологія TSA, викладена у документі TSA: RMF 2008 [172], базується на узгодженні з системою національних рахунків (SNA 2008) і класифікаціями видів діяльності ISIC та продуктів CPC. TSA передбачає формування 10 основних таблиць, що містять інформацію про:

- внутрішнє, в'їзне та виїзне туристичне споживання;
- виробництво туристичних характеристик і суміжних галузей;
- туристичну додану вартість і прямий туристичний ВВП;
- зайнятість у туристичних індустріях;
- інвестиції та державні витрати, пов'язані з туризмом;
- нефінансові показники (кількість поїздок, середня тривалість, мета подорожі).

Використання TSA дозволяє порівнювати дані між країнами, регіонами та часовими періодами, а також виокремлювати прямий економічний ефект туризму.

В Україні класифікація видів економічної діяльності здійснюється за КВЕД-2010, що гармонізований із NACE Rev.2 [173]. У ньому відсутня окрема секція для туризму, але туристична діяльність розосереджена між кількома секціями, зокрема:

- I - Тимчасове розміщення й організація харчування;
- N - Діяльність туристичних агентств і послуги з бронювання;

Дослідження Кулиняка І.Я. [174] підкреслює, що туризм в Україні має чітко виражений міжгалузевий характер, охоплюючи як матеріальне виробництво (сільське господарство, промисловість, будівництво, транспорт, торгівля), так і нематеріальне (розміщення, харчування, культура, освіта, медицина, інформаційні послуги).

На основі такого підходу можна виділити приклади взаємозв'язку окремих видів туризму з економічними секторами: А - Сільське, лісове та рибне господарство: агротуризм, зелений туризм, рибальський туризм. С - Переробна промисловість: гастрономічний, винний, пивний, промисловий туризм. R - Мистецтво, спорт, розваги та відпочинок: культурний, спортивний, фестивальний туризм. Н - Транспорт: екскурсійний і транспортний туризм. G - Роздрібна торгівля, включно з продажем сувенірів і туристичного спорядження.

Дана класифікація є інструментом для формування вибірки суб'єктів господарювання при регіональному аналізі туристичної економіки.

Адаптація методології TSA до регіонального рівня дає змогу оцінити внесок туризму у валовий регіональний продукт (ВРП) і структуру зайнятості. Для Івано-Франківської області, де туризм включає гірськолижний, етнографічний, екологічний та культурний сегменти, важливим є визначення частки підприємств, що належать до туристичних та суміжних галузей. Поєднання TSA з КВЕД-орієнтованою класифікацією, адаптованою з підходу

Кулиняка І.Я. [174], дозволить створити чітку методику для відбору підприємств та оцінки масштабів туристичної економіки регіону.

У дослідженні Забалдіної Ю.Б., Розкладки Н., Передерка В [175] адаптовано TSA до регіонального рівня. Використано дані Головного управління статистики у регіоні, зокрема за операційними формами «Регіональні рахунки» та «Структурні зміни в економіці регіонів». Запропоновано методику формування таблиць 5 та 6 TSA на регіональному рівні з урахуванням наявності статистичних даних. Розроблено алгоритм обчислення GVATI (Gross Value Added of Tourism Industries), TDGVA (Tourism Direct GVA) та Tourism Direct GDP. За результатами, туризм становить 10,34 % валового регіонального продукту Івано-Франківщини без урахування тіньової економіки - удвічі більше, ніж по Україні загалом (~4,8 %). Для Івано-Франківської області інтеграція TSA і КВЕД-класифікації дозволяє визначити частку туристичних і суміжних галузей у регіональній економіці.

На основі результатів досліджень Кулиняка І.Я. та Забалдіної Ю.Б. сформовано структуру туристичної індустрії (рис. 4.1) у розрізі видів економічної діяльності для відбору суб'єктів господарювання з метою оцінки динаміки їх створення та географічного розміщення в Івано-Франківській області. Використано дані Єдиного державного реєстру юридичних осіб, фізичних осіб-підприємців та громадських формувань [176].

Станом на початок 2025 року в області обліковувалося 6510 суб'єктів господарювання з основним кодом КВЕД, що відноситься до туристичної сфери, у тому числі 1641 юридична особа та 4869 фізичних осіб-підприємців. У динаміці з 2019 року простежується висхідна тенденція реєстрації туристичних підприємств, перерваних пандемією COVID-19 (2020 р.) та початком повномасштабного вторгнення росії (2022 р.).

Геопросторовий розподіл підприємств за територіальними громадами візуалізовано за допомогою Python (matplotlib), а також ГІС (рис. 4.4). Найбільша концентрація спостерігається в Івано-Франківській громаді (2812 суб'єктів).



Рис 4.1. Структура видів економічної діяльності згідно з КВЕД, які відносяться до туристичної індустрії

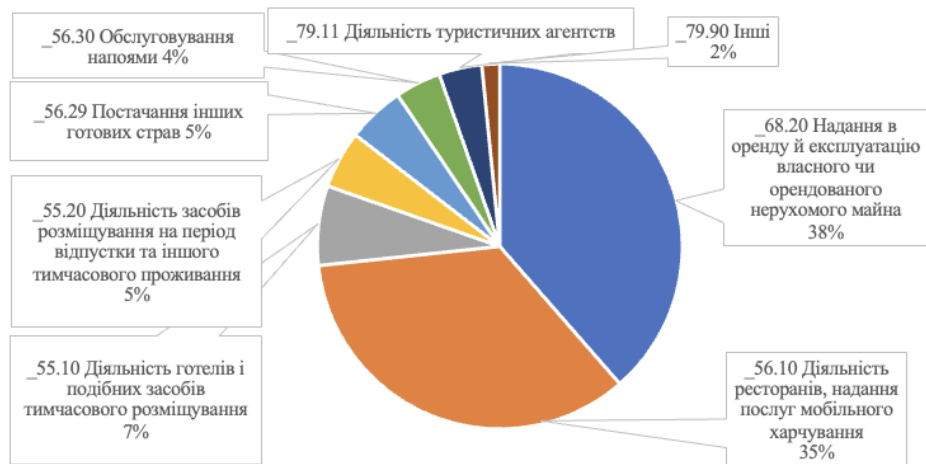


Рис.4.2. Структура туристичної галузі в розрізі кодів КВЕД



Рис.4.3. Динаміка реєстрації новостворених туристичних підприємств в 2019-2024 роках

Коломийська міська громада (501), Калуська міська громада (392), Яремчанська міська громада (296) та Долинська міська громада (151) вирізняються підвищеною концентрацією зареєстрованих суб'єктів підприємницької діяльності у туристичному та суміжних секторах. Просторове тяжіння реєстрацій бізнесу до адміністративно та інфраструктурно розвиненіших центрів області зумовлюється інституційними та організаційними чинниками, зокрема кращою доступністю адміністративних послуг,

скороченими строками реєстраційних процедур, стабільнішою роботою дозвільних органів і зручнішою логістикою взаємодії з податковими та контрольними інституціями. Водночас значна частина відповідних підприємств фактично здійснює господарську діяльність у гірських територіальних громадах рекреаційного профілю — Яремчанській, Ворохтянській, Поляницькій, Верховинській, Косівській та інших, що формує асиметрію між місцем реєстрації бізнесу та просторовою локалізацією реального туристичного навантаження на довкілля.

З метою уніфікації картографічних матеріалів і забезпечення однозначної ідентифікації територіальних громад у межах просторового аналізу застосовано наскрізну нумерацію територіальних громад Івано-Франківської області. Вказана нумерація використовується на картосхемах дисертаційної роботи для позначення територіальних громад без перевантаження графічного простору текстовими підписами. Відповідність порядкових номерів офіційним назвам територіальних громад наведено в додатку В.

Для карт, що виконують переважно ілюстративну функцію та відображають просторовий розподіл екологічних, кліматичних або туристичних показників без необхідності точного географічного позиціонування кожної громади в межах одного рисунка, нанесення повного набору підписів або номерів на кожну картосхему може суттєво знижувати читабельність зображення, особливо за значної кількості територіальних одиниць.

У зв'язку з цим у роботі застосовано підхід опосередкованої ідентифікації територіальних громад шляхом посилання на базову карту-схему нумерації. Такий підхід забезпечує коректність інтерпретації просторових закономірностей, збереження візуальної ясності картографічних матеріалів та уніфікацію аналітичних рисунків. Базову карту-схему нумерації територіальних громад Івано-Франківської області наведено на рисунку додатка В.

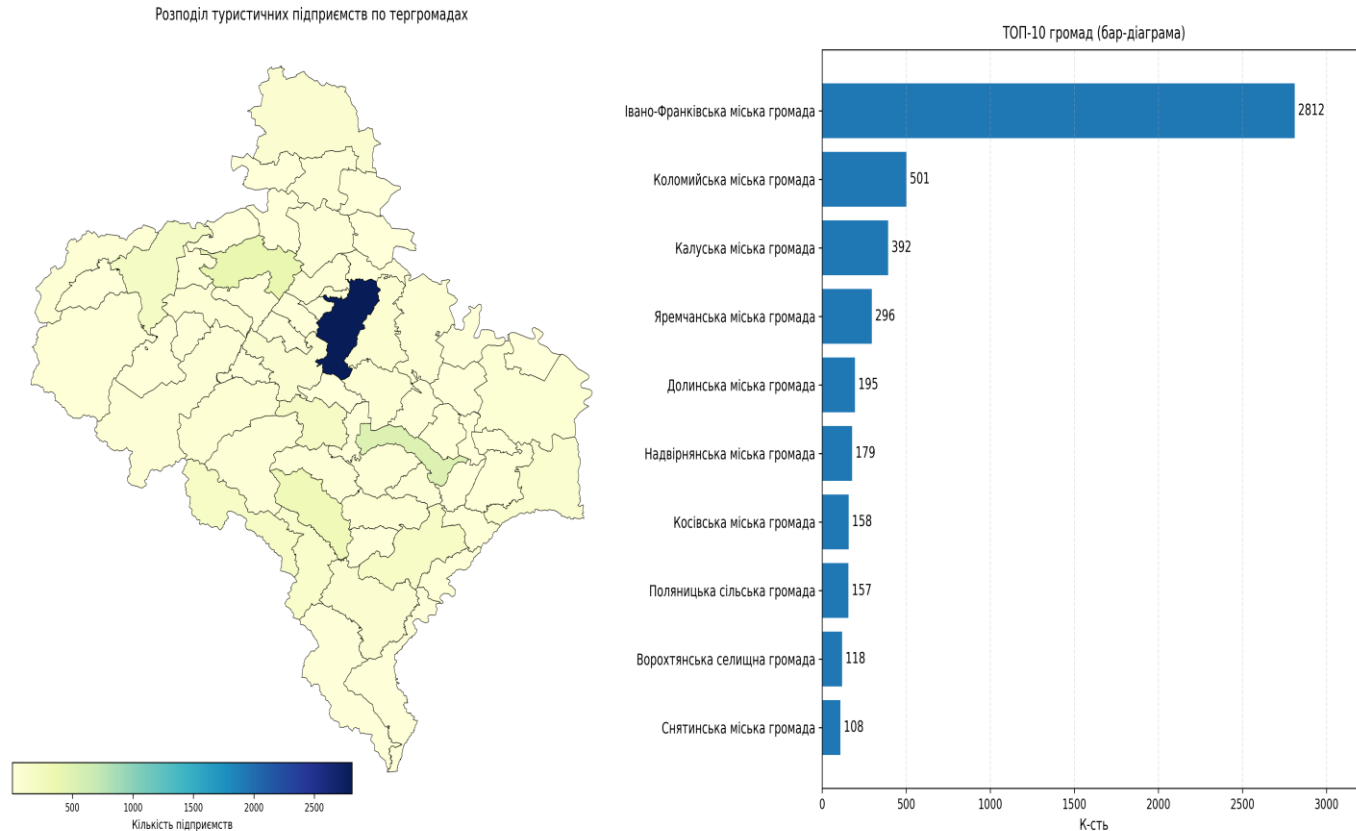


Рис. 4.4. Візуалізація розподілу туристичних підприємств з основним видом туристичної діяльності в розрізі територіальних громад Івано-Франківської області (за місцем реєстрації)

Примітка. Межі ТГ відповідають рис. В.1; відповідність номерів назвам ТГ наведено в табл. В.1 (Додаток В). Номери/назви на тематичних картах не дублюються з метою збереження читабельності.

Що стосується суміжних до туристичної галузі видів діяльності, то в області зареєстровано 6605 юридичних та фізичних осіб – підприємців, в т. ч. 1046 – юридичних осіб, 5559 – фізичних осіб. Серед них переважають суб'єкти господарювання, що займаються наступними видами діяльності:- 47.19 Інші види роздрібної торгівлі в неспеціалізованих магазинах - 3559; - 63.11 Оброблення даних, розміщення інформації на веб-вузлах і пов'язана з ними діяльність – 559; - 49.39 Інший пасажирський наземний транспорт, н.в.і.у. – 297; - 47.78 Роздрібна торгівля іншими невживаними товарами в спеціалізованих магазинах – 286; - 66.22 Діяльність страхових агентів і брокерів – 266.

Розташування суб'єктів господарювання суміжних до туристичних видів економічної діяльності в межах територіальних громад Івано-Франківської області характеризується високою просторовою концентрацією, що відображено на рис. 3.5. Лідируючі позиції, як і у випадку з підприємствами основних туристичних видів діяльності, займає Івано-Франківська міська громада, де станом на початок 2025 року обліковано 2177 підприємств. Значним є також потенціал Коломийської міської громади (689 суб'єктів), Калуської міської громади (466 суб'єктів), Долинської міської громади (276 суб'єктів) та Косівської міської громади (240 суб'єктів). Простежується лише одна розбіжність порівняно з основними туристичними видами економічної діяльності: Яремчанська міська громада, яка традиційно вважається рекреаційним центром, із показником 116 підприємств.

Просторова структура розміщення підприємств демонструє чітку поляризацію господарської активності між ядрами з високою концентрацією бізнесу та периферійними територіальними громадами з обмеженою кількістю зареєстрованих суб'єктів, що, з огляду на міжгалузеву природу туризму, дає змогу ідентифікувати осередки фактичного навантаження, визначити території з найвищою інтеграцією туристичної активності у місцеву економіку та окреслити профіль Івано-Франківської області як туристичного регіону в поєднанні просторових, соціально-економічних і природних чинників.

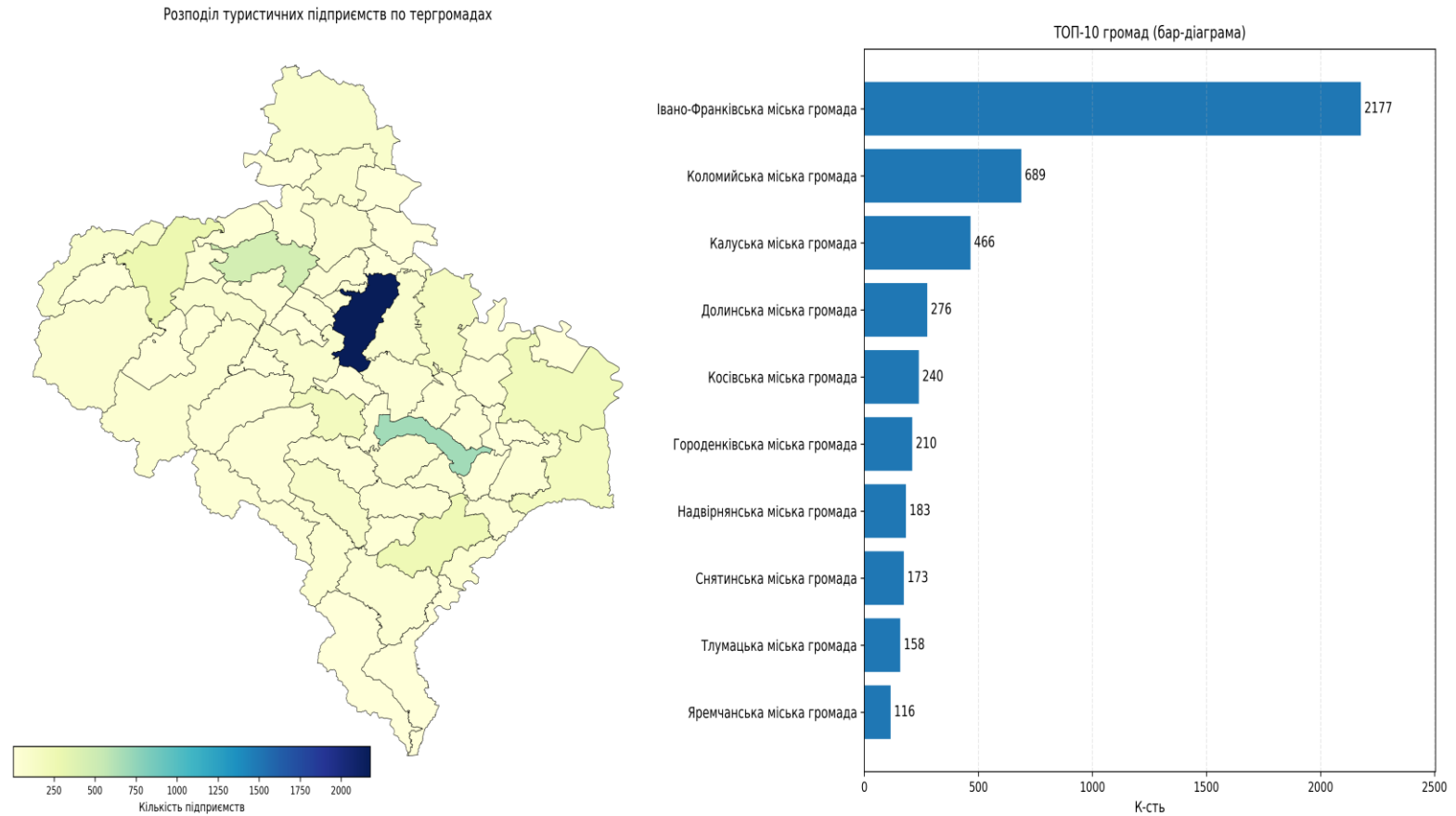


Рис.4.5 Візуалізація розподілу туристичних підприємств (суміжні види туристичної діяльності) в розрізі територіальних громад Івано-Франківської області (за місцем реєстрації)

Примітка. Межі ТГ відповідають рис. В.1; відповідність номерів назвам ТГ наведено в табл. В.1 (Додаток В). Номери/назви на тематичних картах не дублюються з метою збереження читабельності.

Просторовий розподіл та концентрація туристичних об'єктів у межах територіальних громад відображено на рис.4.6.

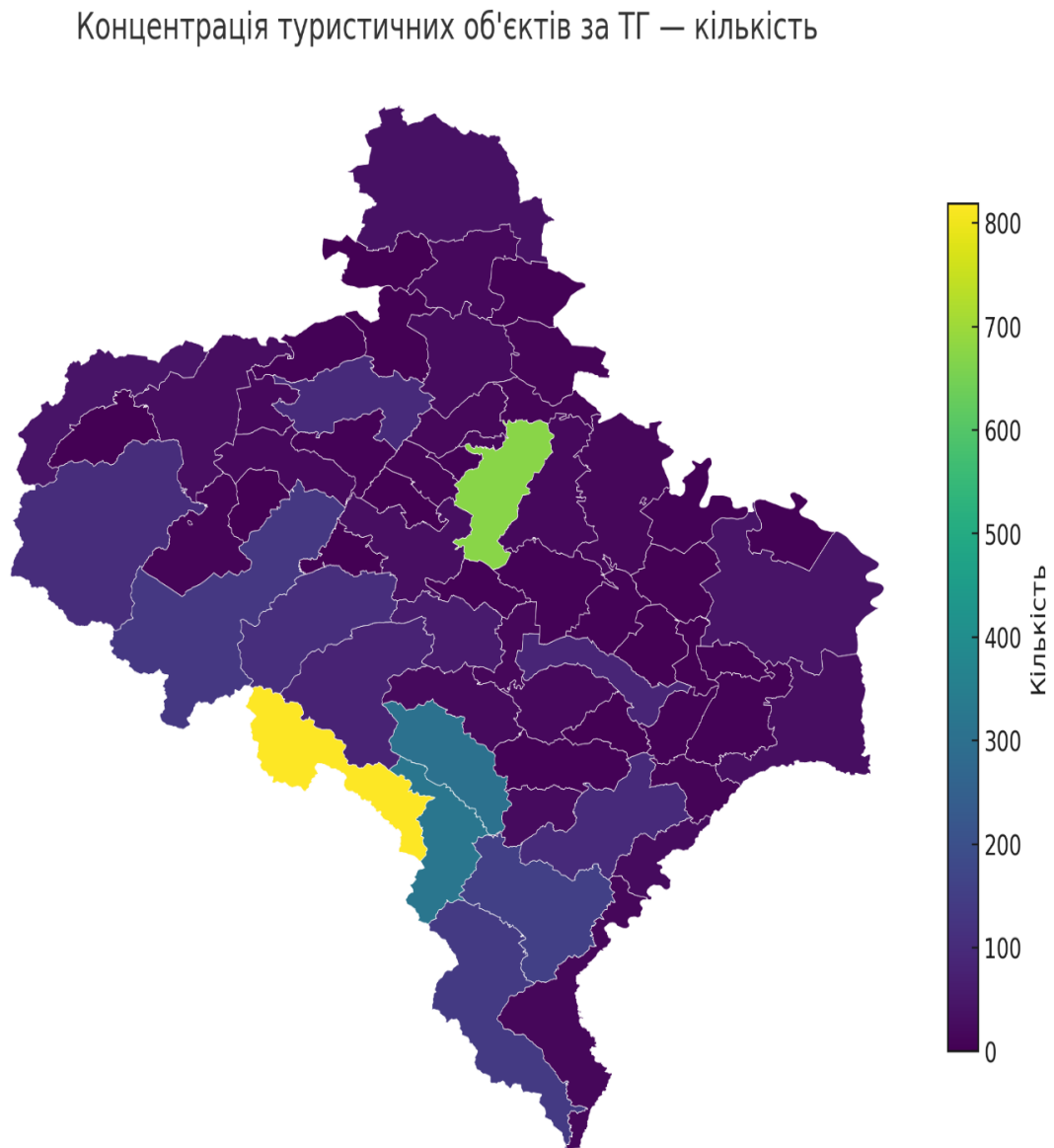


Рис.4.6. Просторовий розподіл та концентрація туристичних об'єктів у межах територіальних громад

Примітка. Межі ТГ відповідають рис. В.1; відповідність номерів назвам ТГ наведено в табл. В.1 (Додаток В). Номери/назви на тематичних картах не дублюються з метою збереження читабельності

Візуалізація демонструє значну нерівномірність територіального розподілу туристичних ресурсів: окремі громади формують

висококонтровані ядра (понад 700–800 об'єктів), тоді як більшість територій характеризуються низькою щільністю туристичних локацій.

Щільність туристичних об'єктів у межах територіальних громад (логарифмічна шкала) відображено на рис.4.7.

Концентрація туристичних об'єктів за ТГ — щільність (на км², log)

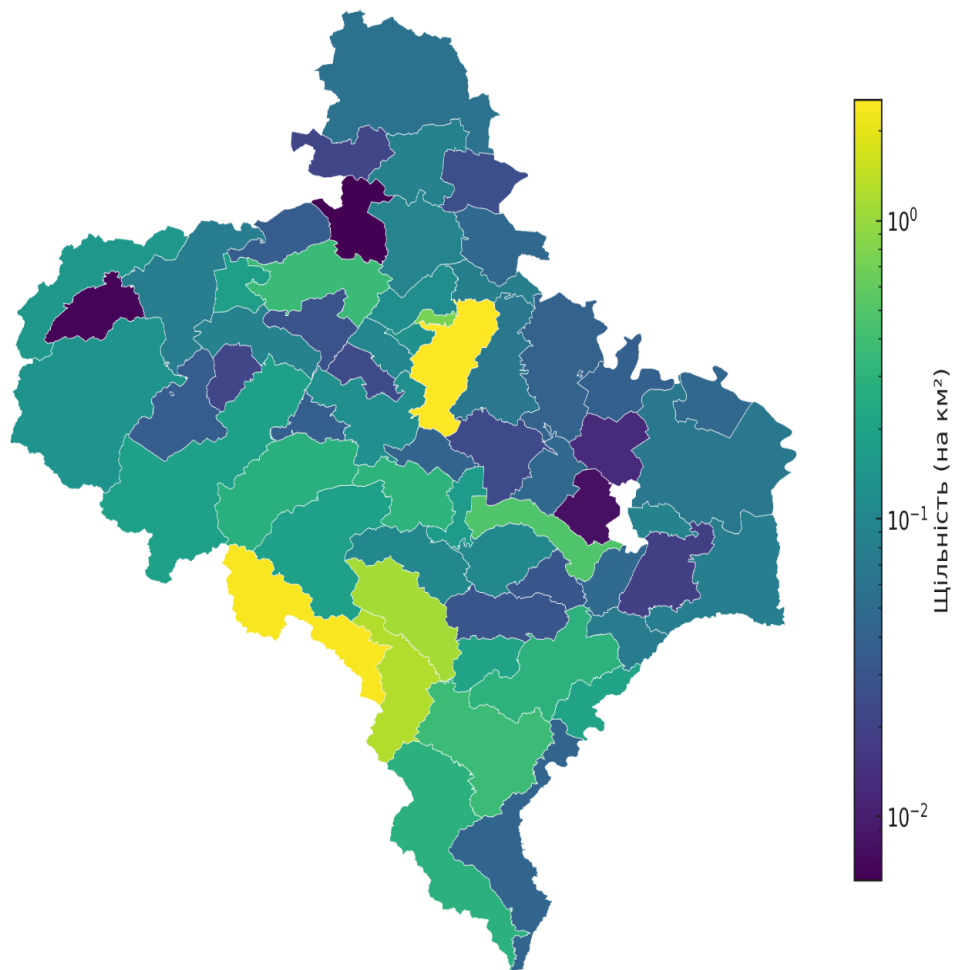


Рис.4.7. Щільність туристичних об'єктів у межах територіальних громад (логарифмічна шкала)

Примітка. Межі ТГ відповідають рис. В.1; відповідність номерів назвам ТГ наведено в табл. В.1 (Додаток В). Номери/назви на тематичних картах не дублюються з метою збереження читабельності

Картина просторової диференціації засвідчує формування вузлів туристичної щільності, характерних для регіонів з історично насиченим

культурним середовищем та розвинутою рекреаційною інфраструктурою. Найвищі значення спостерігаються у громадах, де зосереджено значну кількість пам'яток культурної спадщини, природоохоронних територій, сакральної архітектури чи активних туристичних локацій. Яскраві (жовті та салатові) сегменти карти фіксують території, що виконують функцію туристичних «ядер» підвищеної інтенсивності, які здатні генерувати рекреаційні потоки та забезпечувати мультиплікативний економічний ефект.

Середні значення щільності, позначені зеленими та бірюзовими відтінками, характеризують території зі збалансованим поєднанням площі та кількості туристичних об'єктів. Подібні громади мають потенціал до нарощення туристичної пропозиції за рахунок розвитку локальних маршрутів, брендування території та підтримки малого туристичного бізнесу.

Найнижчі значення (фіолетові й темні відтінки) відображають території з мінімальною концентрацією туристичних ресурсів і може бути пов'язана як із природними чинниками, так і з недостатнім рівнем інвентаризації туристичних об'єктів, відсутністю інфраструктури або переважанням аграрного типу господарювання. Водночас подібні території становлять інтерес для реалізації проєктів «точкового» туризму – розвитку етнографічних, сільських, подієвих чи ремісничих туристичних практик.

Логарифмічна шкала також візуалізує мультиплікативність просторових відмінностей. Наприклад, перехід від значення 0.02 до 0.2 та від 0.2 до 2 відповідає однаковим за розміром крокам на шкалі, оскільки кожен наступний інтервал збільшується у 10 разів, що дозволяє порівнювати не абсолютні значення, а пропорції зростання, що є методологічно важливим при аналізі просторових систем із нерівномірним розподілом об'єктів.

Узагальнений аналіз карти засвідчує, що просторовий розвиток туризму має структуру, наближену до кластерної моделі, де туристичні центри тяжіють до агломерацій з історичним, культурним або природно-рекреаційним потенціалом. Така модель формує осі туристичної мобільності та визначає пріоритети державного управління – від підтримки високонавантажених громад

до стимулювання розвитку периферійних територій. Первинні дані для побудови хороплетів відображено у додатку Е.

У плані туризму Івано-Франківська область характеризується багатим поєднанням природних, культурних і соціально-економічних чинників, що формують її конкурентні переваги у структурі Карпатського регіону. Природно-географічні передумови охоплюють значну частину Українських Карпат, включаючи Горгани, Чорногору, Горгансько-Чивчинський масив, а також передгірні й рівнинні території. Така геоморфологічна структура забезпечує широкий спектр рекреаційних можливостей: гірськолижні схили та високогірні маршрути, річкові долини з потенціалом водного туризму, лісові масиви для екотуризму, етнокультурні зони Гуцульщини та Покуття з виразною нематеріальною спадщиною. Кліматична контрастність і висотна поясність зумовлюють чітко виражену сезонність: зимові піки формуються за рахунок лижного туризму, літньо-осінні - за рахунок пішохідних, велосипедних, фестивалів та агротуристичних практик.

Туристична інфраструктура функціонує як багаторівнева система, у межах якої розрізняють ядро та периферію. До ядра належать розміщення, харчування, пасажирські перевезення, туроператорська й турагентська діяльність, культурні, спортивні та рекреаційні послуги. Периферія охоплює суміжні види діяльності - торгівлю сувенірами й спорядженням, івент-сервіси, ІТ-платформи бронювання, фінансові й медико-оздоровчі послуги, нерухомість короткострокової оренди. Юридична реєстрація більшості підприємств зосереджена в Івано-Франківську, однак фактичне надання послуг концентрується у гірських громадах (Поляниця, Яремче, Ворохта, Верховина, Косів).

Туристичний продукт регіону структурований у кілька кластерів. Гірськолижний і активний відпочинок домінує у зимові місяці та міжсезоння у високогірних районах. Екотуризм орієнтований на національні парки, заповідники, високогірні маршрути, популярні влітку та восени. Культурно-пізнавальний і подієвий туризм реалізується через музеї, сакральну архітектуру, фестивалі та заходи, з концентрацією у теплий період і вихідні дні. Сільський і

гастрономічний туризм інтегрований із місцевими виробниками харчових продуктів і ремесел. Оздоровчі й wellness-послуги займають нішу короткотермінових відвідувань у міжсезоння.

Транспортна доступність вибудована за радіальною моделлю: основні в'їзні потоки зосереджені у місті через залізничний та автобусний вокзали й аеропорт (під час військового стану не функціонує). Туристичні агенції та транспортні компанії, базуючись в Івано-Франківську, організовують трансфери до курортних територій, що пояснює концентрацію реєстрацій у центрі при реальному навантаженні на периферії.

Природоохоронна мережа області включає національні парки, заказники, пам'ятки природи. Їх висока щільність створює «тонкі місця» сталості: ерозію маршрутів, витоптування, локальне засмічення, пікові навантаження на водопостачання й очистку, транспортні затори у долинах. Зростання туристичних потоків підсилює екологічні ризики, що потребує інтегрованих моніторингових і регулятивних рішень.

Туризм виконує роль міжгалузевого драйвера регіональної економіки. Додана вартість генерується не лише у характеристичних видах діяльності, а й у суміжних секторах. Оцінки, здійснені за методикою Tourism Satellite Account, засвідчують вагомий внесок туристичної індустрії у валовий регіональний продукт Івано-Франківської області, що підкреслює значущість адаптації міжнародних методологій до національного та регіонального контекстів.

На рис. 4.8 подано просторову локалізацію об'єктів туристичної інфраструктури Івано-Франківської області, ідентифікованих у базі OpenStreetMap (далі - OSM) тегом tourism=*. До цієї множини належать засоби розміщення (hotel, guest_house, hostel, motel, apartment, camp_site, alpine_hut), а також об'єкти дозвілля та культурної спадщини (attraction, museum, viewpoint, information тощо). Карта візуалізує пропозиційну складову туристичної системи та виявляє просторові «вузли» інтенсивної інфраструктурної концентрації (гірські курортні ТГ, туристичні коридори вздовж транспортних осей).

База OSM формується спільнотою і відзначається нерівномірною повнотою покриття: центральні та популярні локації мапляться детальніше, периферійні - менш докладно. Відтак карта відображає насамперед наявність та просторове розміщення POI, а не фактичну інтенсивність їх використання (кількість ночівель, заповненість тощо).

OSM tourism=* у межах Івано-Франківської області
Джерело POI: OpenStreetMap (© OSM contributors, ODbL 1.0). Контури ТГ: надані користувачем.

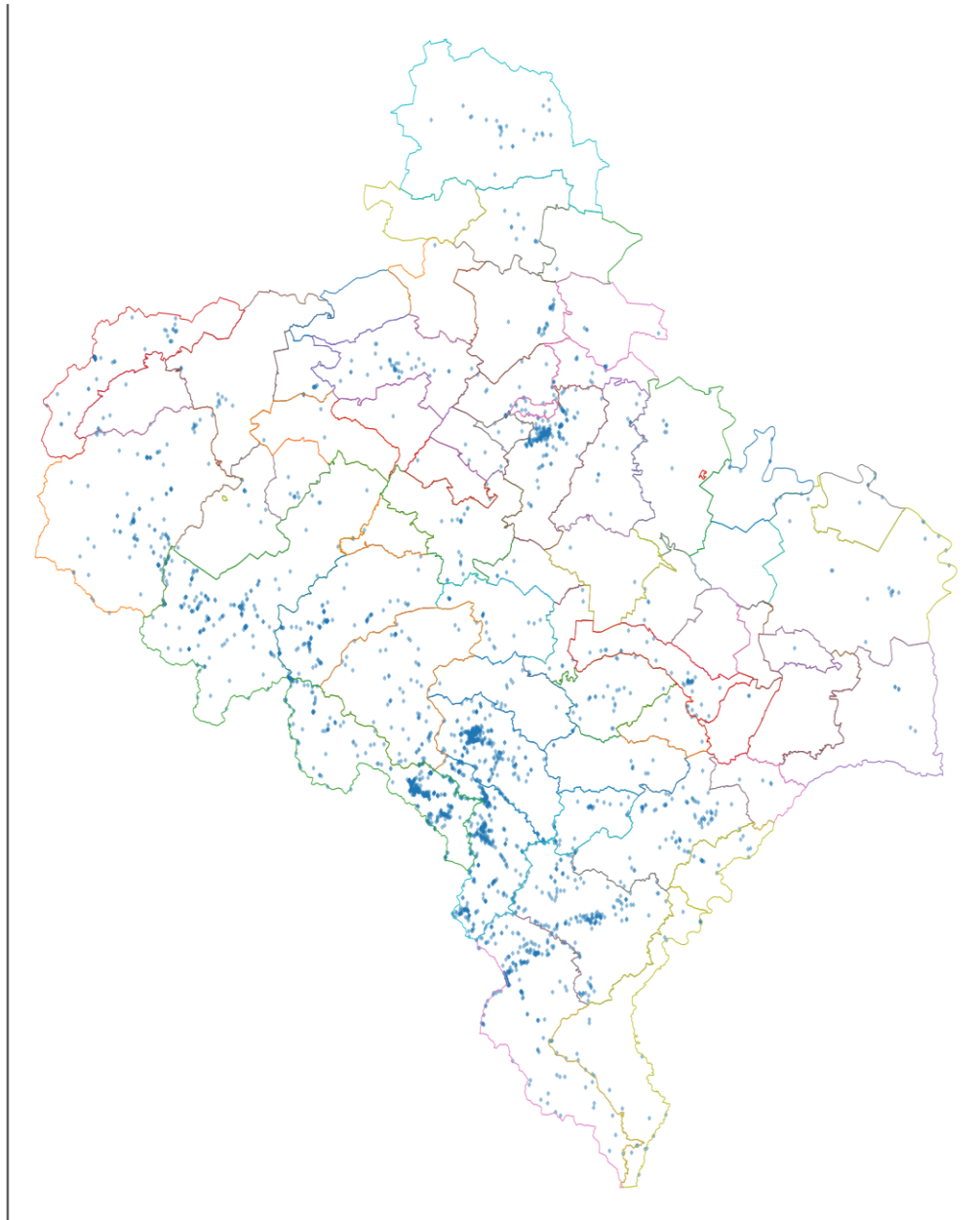


Рис.4.8 - Просторовий розподіл об'єктів tourism=* (OpenStreetMap) у межах Івано-Франківської області. Джерело: © OpenStreetMap contributors, ODbL 1.0.

Контури ТГ - за даними автора.

ТОП-10 територіальних громад Івано-Франківської області за щільністю об'єктів туристичної інфраструктури відображено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

ТОП-10 територіальних громад Івано-Франківської області за щільністю об'єктів туристичної інфраструктури (POI з тегом tourism=*) на км² за даними OpenStreetMap.

Ранг	Назва громади	КАТОТТГ	Кількість туристичних об'єктів (ТО), од.	Площа, км ²	Щільність ТО, на км ²
1	Ворохтянська селищна громада	UA26120010000096774	341	274.2	1.244
2	Яремчанська міська громада	UA26120150000021671	328	273.7	1.198
3	Поляницька сільська громада	UA26120130000088448	392	327.4	1.197
4	Івано-Франківська міська громада	UA26040190000081578	204	265.7	0.768
5	Зеленська сільська громада	UA26020050000098694	200	482.2	0.415
6	Верховинська селищна громада	UA26020030000088465	170	429.4	0.396
7	Угринівська сільська громада	UA26040370000057019	7	18.6	0.376
8	Солотвинська селищна громада	UA26040290000025886	112	377.6	0.297
9	Космацька сільська громада	UA26100030000012148	31	110.0	0.282
10	Перегінська селищна громада	UA26060210000091421	184	669.6	0.275

Джерело: © OpenStreetMap contributors, ODbL 1.0. Розрахунки автора.

Для кількісної оцінки взаємозв'язку між туризмом і екологічним навантаженням потрібні стандартизовані, порівнянні у часі ряди. Далі у роботі використовуються офіційні показники зі звітності в знеособленому вигляді: туристо-доби за даними звітності з туристичного збору та агреговані по підприємствах показники використання води, викидів в атмосферу, скидів у водні об'єкти й утворення ТПВ (екологічна компонента) - у розрізі територіальних громад і років. Це дозволяє здійснити коректне нормування (на

км², на 1 тис. осіб, на 1 туристо-добу) і застосувати панельні економетричні моделі з фіксованими ефектами та просторовими тестами.

Таким чином, просторово-функціональний профіль Івано-Франківської області відображає поєднання природно-географічних і соціально-економічних чинників, які формують високу концентрацію туристичних потоків і супровідне екологічне навантаження. Застосування методології Tourism Satellite Account у поєднанні з КВЕД-класифікацією забезпечує можливість кількісної оцінки внеску туризму у валовий регіональний продукт та виявлення поляризації господарської активності між обласним центром і гірськими громадами.

Для Івано-Франківської області проведено просторове картографування туристичного навантаження в межах територіальних громад на основі інтеграції статистичних, реєстраційних і відкритих геопросторових даних. Розроблено авторський підхід до ідентифікації туристичних підприємств за кодами КВЕД із подальшою візуалізацією їх географічного розміщення у середовищі Python (matplotlib).

Удосконалено методику регіональної адаптації системи супутніх рахунків туризму (TSA) шляхом поєднання показників регіональних рахунків, структурних змін економіки та класифікації видів економічної діяльності. Обґрунтовано методологічну можливість інтеграції TSA і КВЕД-класифікації для формування просторово-галузевого профілю туристичної індустрії регіону.

Картографовано осередки концентрації туристичної діяльності, визначено ядра (Івано-Франківська, Коломийська, Калуська, Яремчанська громади) та периферійні зони туристичного розвитку. Геопросторовий аналіз підтверджує домінування туристичних ядер у Яремчанській, Ворохтянській та Поляницькій громадах, тоді як периферійні території демонструють значно нижчу щільність туристичних об'єктів. Виявлені закономірності підтверджують мультиплікативний ефект туризму та одночасно актуалізують необхідність інтеграції показників екологічного навантаження у систему моніторингу, що створює основу для застосування економетричних моделей фіксованих ефектів і просторових тестів у подальшому аналізі.

4.2. Оцінка екологічного навантаження суб'єктів туристичної галузі у територіальних громадах Івано-Франківської області

У сучасних умовах стрімкого розвитку туризму екологічний вимір набуває першочергового значення. Туризм як одна з найбільш динамічних сфер світової економіки формує багатовекторний вплив на довкілля. Науковий дискурс підтверджує актуальність окреслених викликів. Паньків Н.Є. [177] акцентує увагу на інтеграції зеленого туризму та розвитку екологічних маршрутів у межах національних парків. Зінько Ю., Мальська М., Іваник М., Благодир С. [178] досліджують наслідки масових форм рекреації у Карпатах, наголошуючи на важливості впровадження сталого туризму відповідно до Протоколу Карпатської конвенції [180].

На рис. 4.9-4.13 подано картограми інтенсивності туристичного попиту (туристо-добы на км²) та екологічних метрик у розрізі територіальних громад: використання води й викидів в атмосферу, у водойми, розміщення твердих побутових відходів (далі - ТПВ) (всі підприємства) у розрахунку на км², а також частка туристичних підприємств у відповідних загальних обсягах. Така побудова дає змогу одночасно спостерігати рівень навантаження територій (через нормування на площу) і структуру джерел цього навантаження (внесок саме туристичних суб'єктів).

Для забезпечення порівнянності показників між територіальними громадами застосовано єдину методику аналітичної обробки даних, що ґрунтується на двох ключових принципах.

По-перше, усі показники (туристичний попит, використання водних ресурсів, викиди забруднювальних речовин в атмосферу, скиди у водні об'єкти, утворення твердих побутових відходів) нормовано на площу громади.

Інтенсивність навантаження визначалася у розрахунку на 1 км² території за формулою:

$$I_x = \frac{X_{tot}}{S}$$

де I_x - інтенсивність показника на 1 км²,

X_{tot} - загальне значення показника для громади (кількість туристо-днів, м³ води, тонни викидів чи відходів),

S - площа громади у км².

Такий підхід дозволив співставити рівень навантаження у громадах різної територіальної величини.

По-друге, для кожного показника було визначено частку туристичного сектору у його формуванні. Для цього використовувались дані щодо суб'єктів господарювання, які сплачували туристичний збір, що дало змогу ідентифікувати належність підприємств до туристичної галузі.

Частка туристичного сектору розраховувалась за формулою:

$$Share_x = \frac{X_{tour}}{X_{tot}}$$

де $Share_x$ - частка туристичного сектору,

X_{tour} - обсяг показника, що формується туристичними підприємствами,

X_{tot} - загальний обсяг показника по громаді.

Аналіз емпіричних даних за 2024 рік виявляє виражену просторову концентрацію туристичного навантаження в гірських територіальних громадах Карпатського регіону. Максимальні значення інтенсивності зафіксовано у Поляницькій сільській громаді (1 709,5 туристо-діб/км²), де відносно компактна територія характеризується високою концентрацією відвідувачів. Значні показники також демонструють Яремчанська міська громада (522,7 туристо-діб/км²) та Ворохтянська селищна громада (328,6 туристо-діб/км²).

Івано-Франківська міська громада, попри нижчий відносний показник інтенсивності (78,4 туристо-діб/км²), характеризується значним абсолютним обсягом ночівель, що пояснюється поліфункціональністю міського середовища та диверсифікованою структурою туристичного попиту. Низькі значення індикатора або відсутність статистичних даних у багатьох територіальних громадах (візуалізовані на картографічних матеріалах штриховкою)

відображають недостатній розвиток формалізованої туристичної інфраструктури. Виявлена просторова концентрація рекреаційного попиту в обмежених ареалах гірських територіальних громад створює передумови для формування сезонних піків антропогенного навантаження на екосистеми та інженерно-технічну інфраструктуру локальних територій, що потребує впровадження адаптивних механізмів управління туристичними потоками.

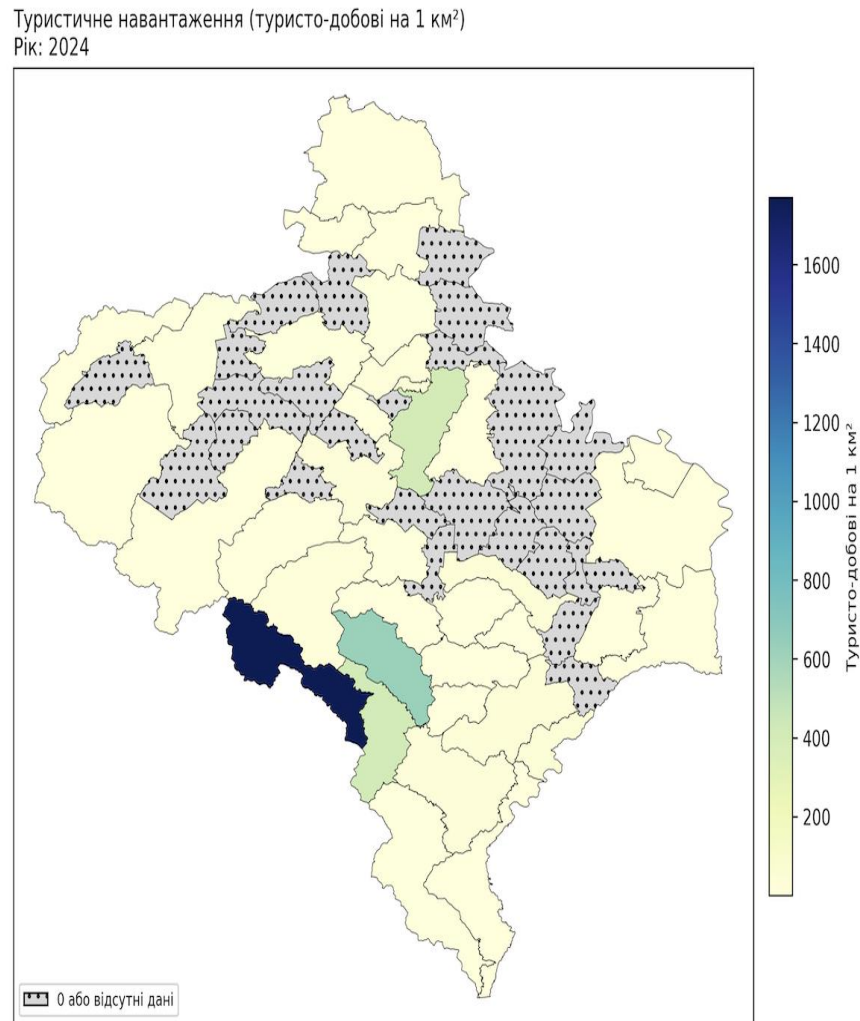


Рис. 4.9. Туристичне навантаження (туристо-добові на 1 км²) у територіальних громадах Івано-Франківської області, 2024 р. Джерела: дані зі звітності по туристичному збору 2019–2024; розрахунки автора.

Примітка. Межі ТГ відповідають рис. В.1; відповідність номерів назвам ТГ наведено в табл. В.1 (Додаток В). Номери/назви на тематичних картах не дублюються з метою збереження читабельності.

Найвища просторова інтенсивність туристичних потоків зосереджена у гірських громадах Карпатського регіону. Поляницька сільська громада акумулює 2 387,9 т/д на км², Яремчанська міська - 624,6, Ворохтянська селищна - 408,2. У Івано-Франківській міській громаді показник нижчий (395,7), однак абсолютний обсяг ночівель є значним, що пояснюється більшою площею території та поліфункціональністю міського середовища.

Аналіз питомого водоспоживання за 2024 рік свідчить про просторову концентрацію у промислово-урбанізованих центрах регіону з максимальними значеннями у Ямницькій сільській громаді (2 078,4 м³/км²), що зумовлено водоемним індустріальним виробництвом, а також у Калуській (945,7 м³/км²) і Долинській (820,3 м³/км²) міських громадах, де діє поєднання промислового та комунально-побутового водокористування, водночас структурний аналіз за часткою туристичного сектора виявив найвищі коефіцієнти у рекреаційно спеціалізованих громадах - Поляницькій (0,834), Яремчанській (0,615) та Ворохтянській (0,542).

У цих адміністративних одиницях спостерігається домінування рекреаційно-орієнтованих компонентів у структурі водокористування, що включає водозабезпечення закладів розміщення, об'єктів харчування, транспортної та супутньої інфраструктури туристичного призначення.

Виявлена структурна специфіка водоспоживання в туристично-орієнтованих громадах свідчить про підвищену вразливість їх водогосподарських систем до сезонних флуктуацій рекреаційного попиту. Це формує передумови для виникнення пікових навантажень на водні ресурси та водогосподарську інфраструктуру в періоди максимальної туристичної активності, що потребує впровадження адаптивних механізмів управління водокористуванням з урахуванням сезонної динаміки.

Аналіз просторового розподілу питомих викидів у атмосферу (т/км²) демонструє чітку диференціацію територій за інтенсивністю антропогенного навантаження. Бурштинська міська громада характеризується екстремально високими показниками (24 206,4 т/км²), що детерміновано функціонуванням

потужного енергогенеруючого об'єкта - Бурштинської ТЕС. Калуська міська громада, як значний центр хімічної промисловості, демонструє суттєво нижчі, але все ж значні обсяги емісії (1 268,7 т/км²).

Проміжну позицію за інтенсивністю викидів займають Долинська міська громада (306,2 т/км²) та Солотвинська селищна громада (88,1 т/км²). Решта адміністративних одиниць регіону характеризується істотно нижчими показниками, що підтверджує концентрацію основних джерел забруднення в обмеженій кількості промислових центрів.

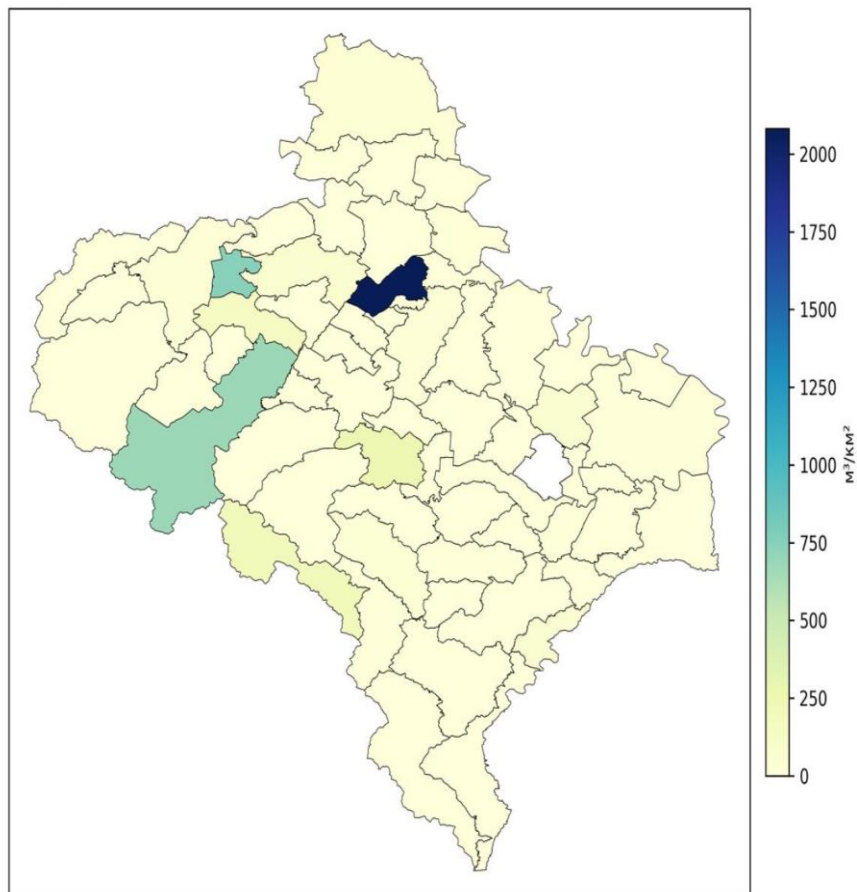
Дослідження виявило закономірність: частка туристичного сектору в структурі атмосферних викидів досягає максимальних значень у громадах з обмеженою промисловою базою. Найвищі коефіцієнти зафіксовано у: Ворохтянській селищній громаді (0,966), Богородчанській селищній громаді (0,773), Надвірнянській міській громаді (0,526), Солотвинській селищній громаді (0,418).

Отримані результати підтверджують гіпотезу про те, що в територіальних одиницях з низьким рівнем індустріалізації транспортні та теплогенераційні процеси, асоційовані з рекреаційною діяльністю, формують значну частку загального обсягу атмосферних викидів.

Інтенсивність скидів у водні об'єкти на км² виявляє концентрацію впливів у промислово-комунальних осередках регіону. Найвищі значення зафіксовані у Бурштинській міській громаді (28,7 т/км²) та Галицькій міській громаді (16,3 т/км²), де функціонують об'єкти енергетики та комунального господарства. Додатково виділяються Калуська та Долинська громади, що мають сталу індустріальну базу.

Водночас частка туристичних підприємств у загальних обсягах скидів є найбільшою у Яремчанській міській (0,962) та Поляницькій сільській громадах (0,885). Це пояснюється тим, що у рекреаційних територіях промислова складова обмежена, а вагомими залишаються впливи від туристичної інфраструктури (готелі, заклади харчування, об'єкти відпочинку), що формують основні навантаження на водні ресурси.

Водоспоживання (всі підприємства) на км²
Рік: 2024



Частка туристичних підприємств у водоспоживанні
Рік: 2024

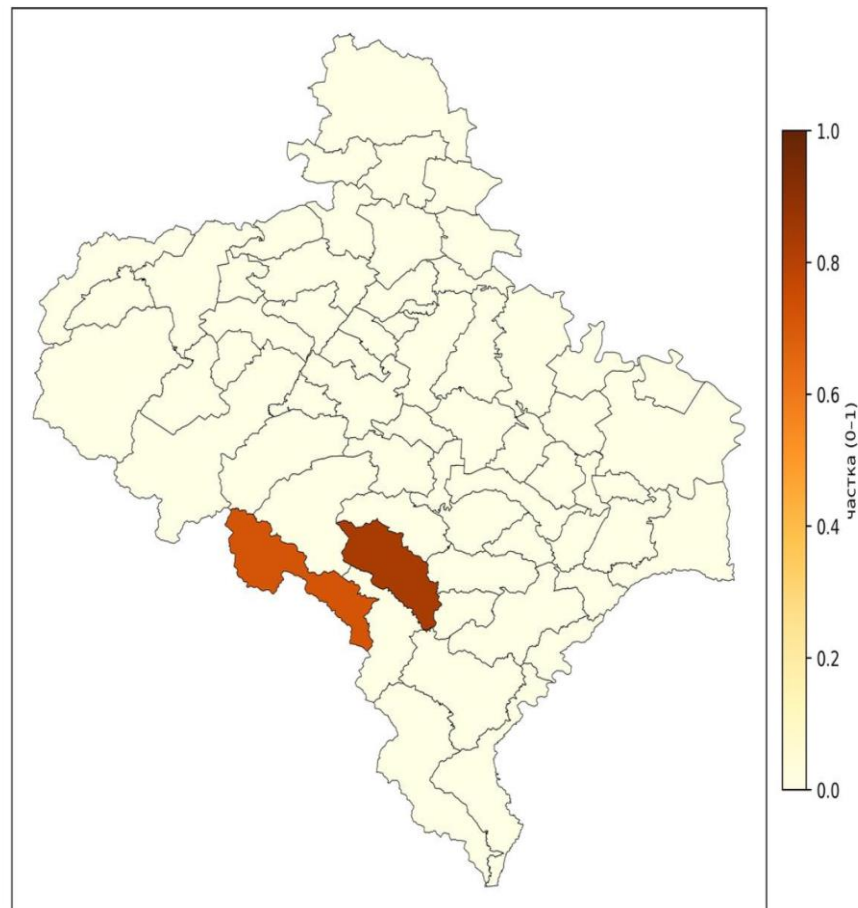
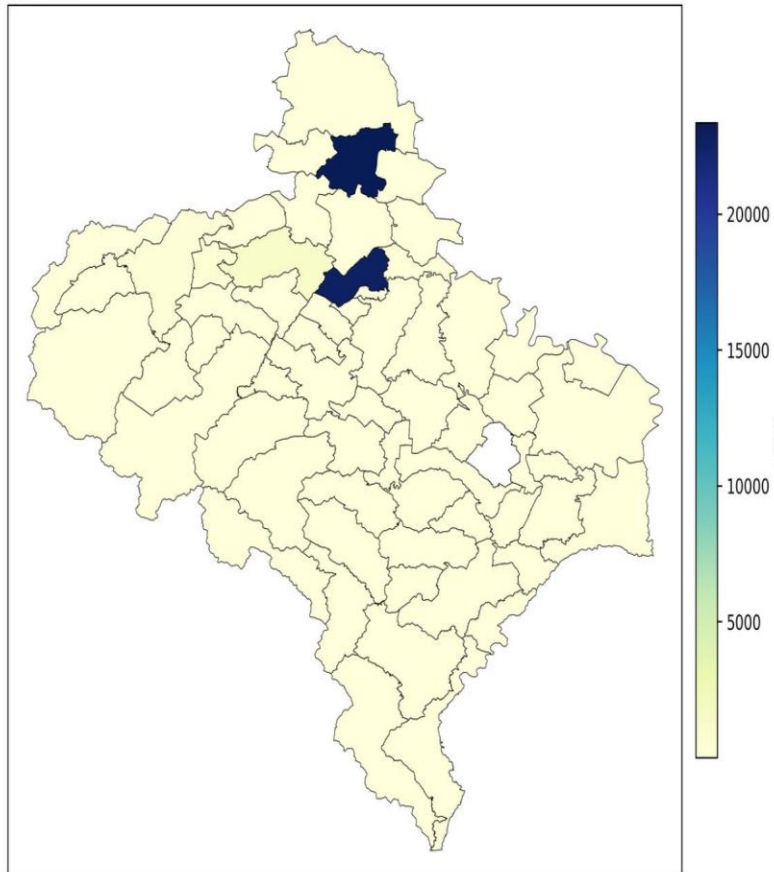


Рис.4.10. Інтенсивність водоспоживання (м³/км²) та частка туристичних підприємств у загальному водоспоживанні територіальних громад Івано-Франківської області, 2024 р.; розрахунки автора.

Примітка. Межі ТГ відповідають рис. В.1; відповідність номерів назвам ТГ наведено в табл. В.1 (Додаток В). Номери/назви на тематичних картах не дублюються з метою збереження читабельності.

Інтенсивність викидів в атмосферу (усі підприємства)
Рік: 2024



Частка туристичних підприємств у викидах в атмосферу
Рік: 2024

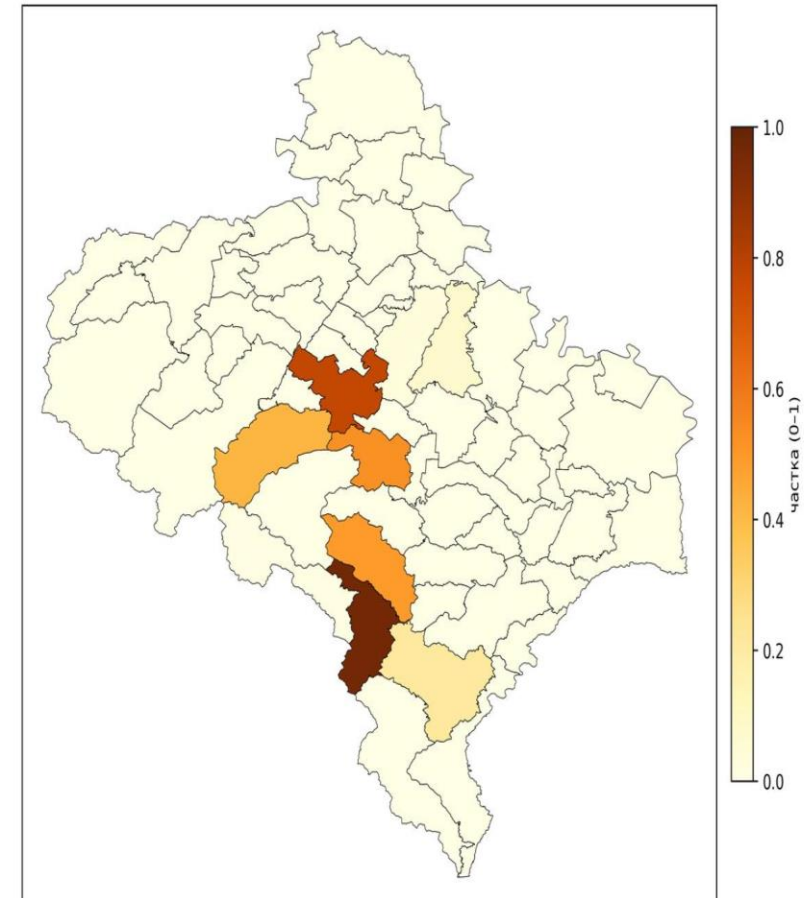
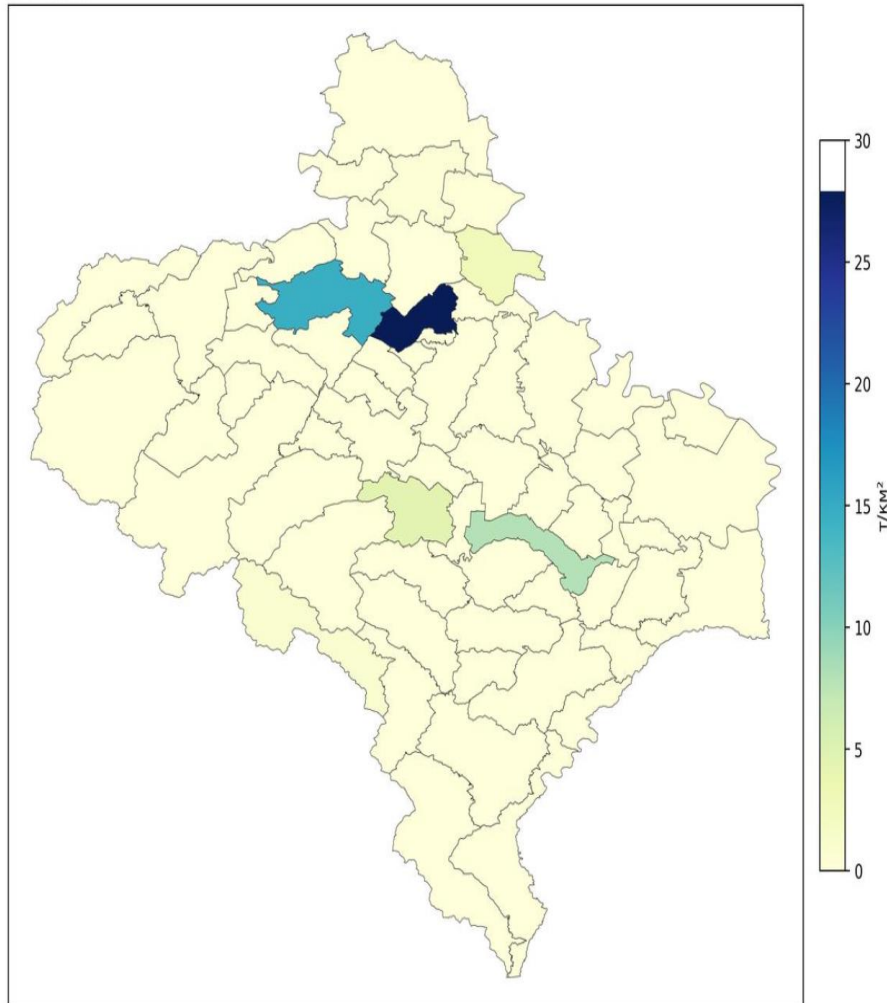


Рис.4.11. Інтенсивність викидів забруднювальних речовин в атмосферу у територіальних громадах Івано-Франківської області у 2024 р., розрахована на 1 км² площі громади (тон/ км²). Частка туристичного сектору визначена за даними суб'єктів, що сплачували туристичний збір.

Скиди у водні об'єкти (всі підприємства) на км²
Рік: 2024



Частка туристичних підприємств у скидах у водні об'єкти
Рік: 2024

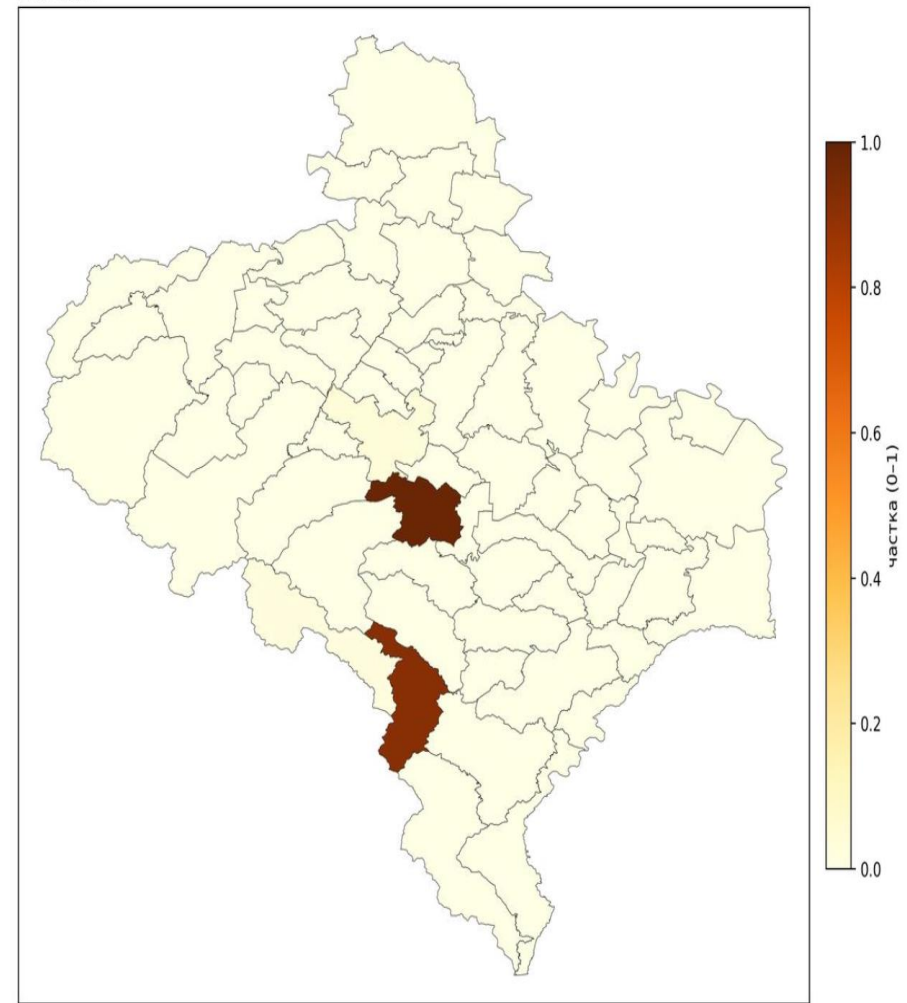
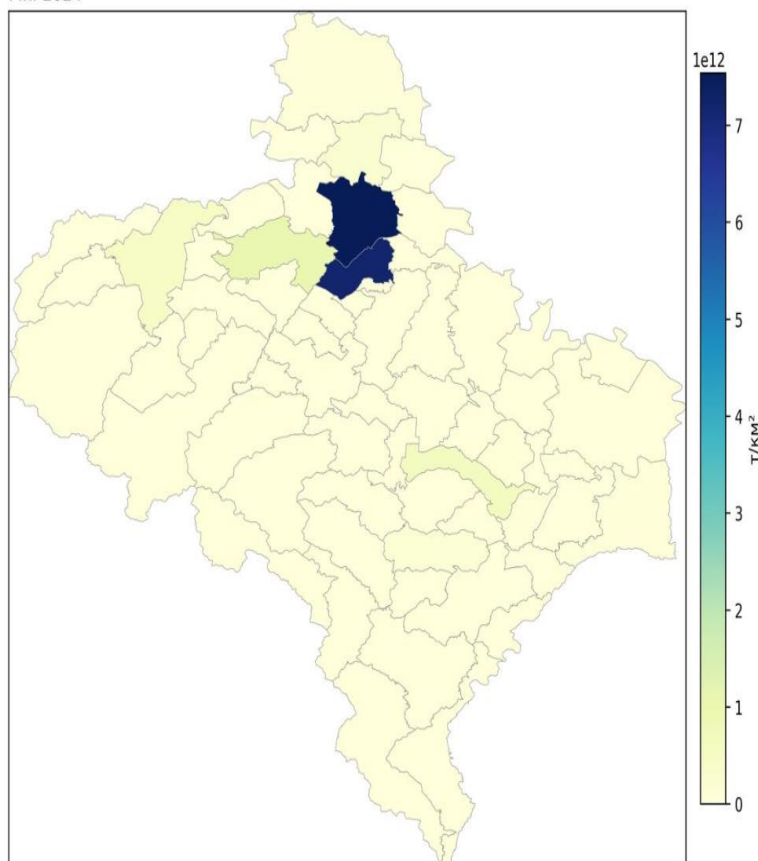


Рис.4.12. Інтенсивність скидів у водні об'єкти (т/км²) та частка туристичних підприємств у їх структурі за територіальними громадами Івано-Франківської області, 2024 р.; розрахунки автора

Тверді побутові відходи (усі підприємства) на км²
Рік: 2024



Частка туристичних підприємств у загальному обсязі ТПВ
Рік: 2024

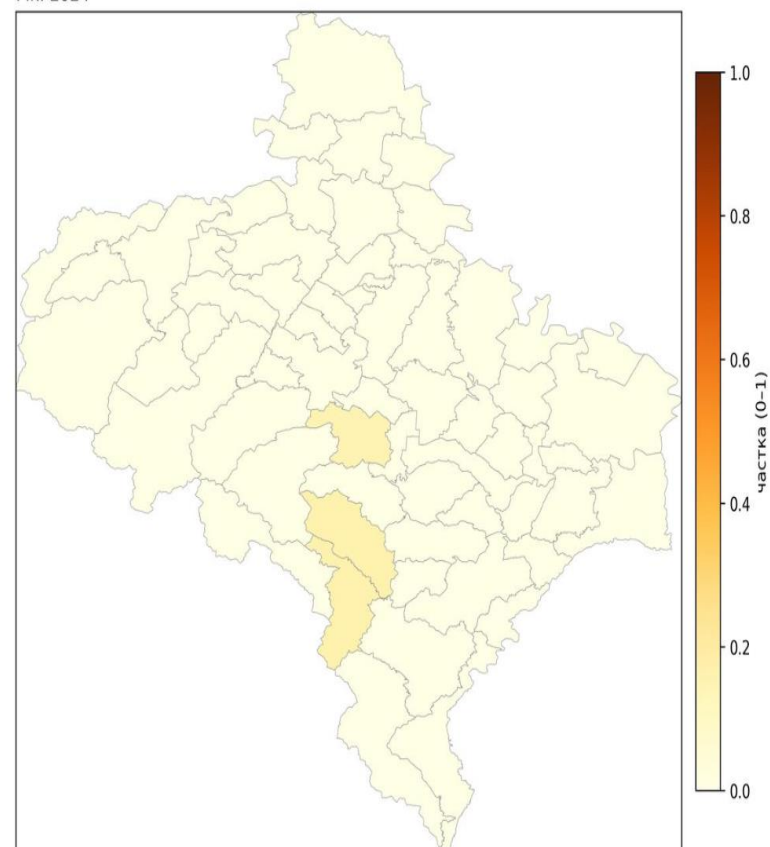


Рис.4.13. Інтенсивність розміщення твердих побутових відходів (тон на км²) та частка туристичних підприємств у їх обсягах за громадами Івано-Франківської області, 2024 р.

Примітка. Межі ТГ відповідають рис. В.1; відповідність номерів назвам ТГ наведено в табл. В.1 (Додаток В). Номери/назви на тематичних картах не дублюються з метою збереження читабельності.

Аналіз просторового розподілу питомого показника утворення твердих побутових відходів (т/км²) виявляє виражену концентрацію у Ямницькій сільській громаді, де зафіксовано екстремально високе значення ($7,4 \cdot 10^{12}$ т/км²). Цей феномен детермінований локалізацією на території громади значної кількості промислових об'єктів та інфраструктури поводження з відходами, включаючи полігони їх розміщення. Прилеглі адміністративні одиниці характеризуються суттєво нижчими, але все ж помітними показниками інтенсивності. Водночас, більшість територіальних громад регіону демонструють низькі значення питомого утворення ТПВ, що відображає нерівномірність просторового розподілу джерел генерації відходів.

Структурний аналіз генерації твердих побутових відходів за секторами економіки демонструє відносно обмежений внесок туристичних підприємств у загальний обсяг ТПВ навіть у громадах з вираженою рекреаційною спеціалізацією. Максимальні значення частки туристичного сектора зафіксовано у Ворохтянській (0,242) та Полянницькій (0,214) сільських громадах.

Відносно низька частка туристичного сектора у структурі генерації ТПВ пояснюється комплексом факторів:

1. Виражена сезонність функціонування рекреаційних закладів, що обмежує кумулятивний річний обсяг утворення відходів
2. Домінування індустріальних та комунально-побутових джерел у загальній структурі генерації ТПВ, що характеризуються значно вищими абсолютними обсягами утворення відходів

Отримані результати свідчать про необхідність диференційованого підходу до управління потоками твердих побутових відходів з урахуванням секторальної специфіки їх утворення та просторової концентрації.

Проведемо аналіз найбільших забруднювачів навколишнього середовища на основі початкових масивів даних по суб'єктах господарювання та територіальних громадах (ТГ) за 2019–2024 рр. Аналіз здійснюється для трьох середовищ: атмосферне повітря, водні об'єкти, тверді побутові відходи (ТПВ).

Структура викидів у 2024 р. (табл. 4.2) наступна: першу трійку забруднювачів становлять: двоокис вуглецю, що викидається в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення (98,52%), ангідрид сірчистий (0,9%) та азоту оксиди (0,24%), сукупно 99,66% від підсумку ТОП-10. Наступні позиції - тверді речовини, вуглеводні тощо - мають суттєво менші внески (0,26%). Така концентрація свідчить про «вузький» профіль викидів, характерний для поєднання енергетики/теплогенерації та транспортного компонента, до якого в пікові сезони додається внесок об'єктів розміщення і харчування в туристичних осередках.

Таблиця 4.2

ТОП-10 речовин-забруднювачів повітря у 2024 р. (сума річних обсягів по області; частка у сумі ТОП-10)

Назва забруднювача	2019	2020	2021	2022	2023
Двоокис вуглецю, що викидається в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення	13348961,63	10632864	12537247	10555423	10407379
ангідрид сірчистий	261138,83	117732,1	119748,4	105394,2	96462,02
азоту оксиди	27158	16418,13	14897,84	15350,7	18245,77
тверді речовини	64951,37	20236,5	20499,11	20075,8	24082,89
вуглеводні	10427,29	9131,95	11104,24	11070,64	9340,95
вуглецю окис	5398,58	4090,63	4146,04	3852,43	4737,42
Забруднюючі речовини (сполуки), що викидаються в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення, які не зазначені в групі кодів 243.1.000 та на які встановлено клас небезпечності (III клас небезпечності)	899,13	1006,89	1284,82	1506,05	1836,15
Забруднюючі речовини (сполуки), що викидаються в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення, які не зазначені в групі кодів 243.1.000 та на які встановлено клас небезпечності (IV клас небезпечності)	318,55	289,64	303,87	309,76	368,93
аміак	179,3	164,88	235,59	282,96	329,03
Забруднюючі речовини (сполуки), що викидаються в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення, які не зазначені в групі кодів 243.1.000 та для яких не встановлено клас небезпечності (крім двоокису вуглецю) і встановлено орієнтовно безпечний рівень їх впливу в атмосферному повітрі населених пунктів: (понад 0,01 - 0,1 (включно) міліграма на 1 куб. м.)	2490,62	2481,87	35,82	2613,18	15406,54

На рис. 4.14 зафіксовано зниження сумарного рівня ТОП-10; найвиразніший вклад у тренд демонструє двоокис вуглецю, що викидається в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення, із максимумом у 2019 та мінімумом у 2024. Для ангідриду сірчастого та оксидів азоту характерні плавне зменшення.

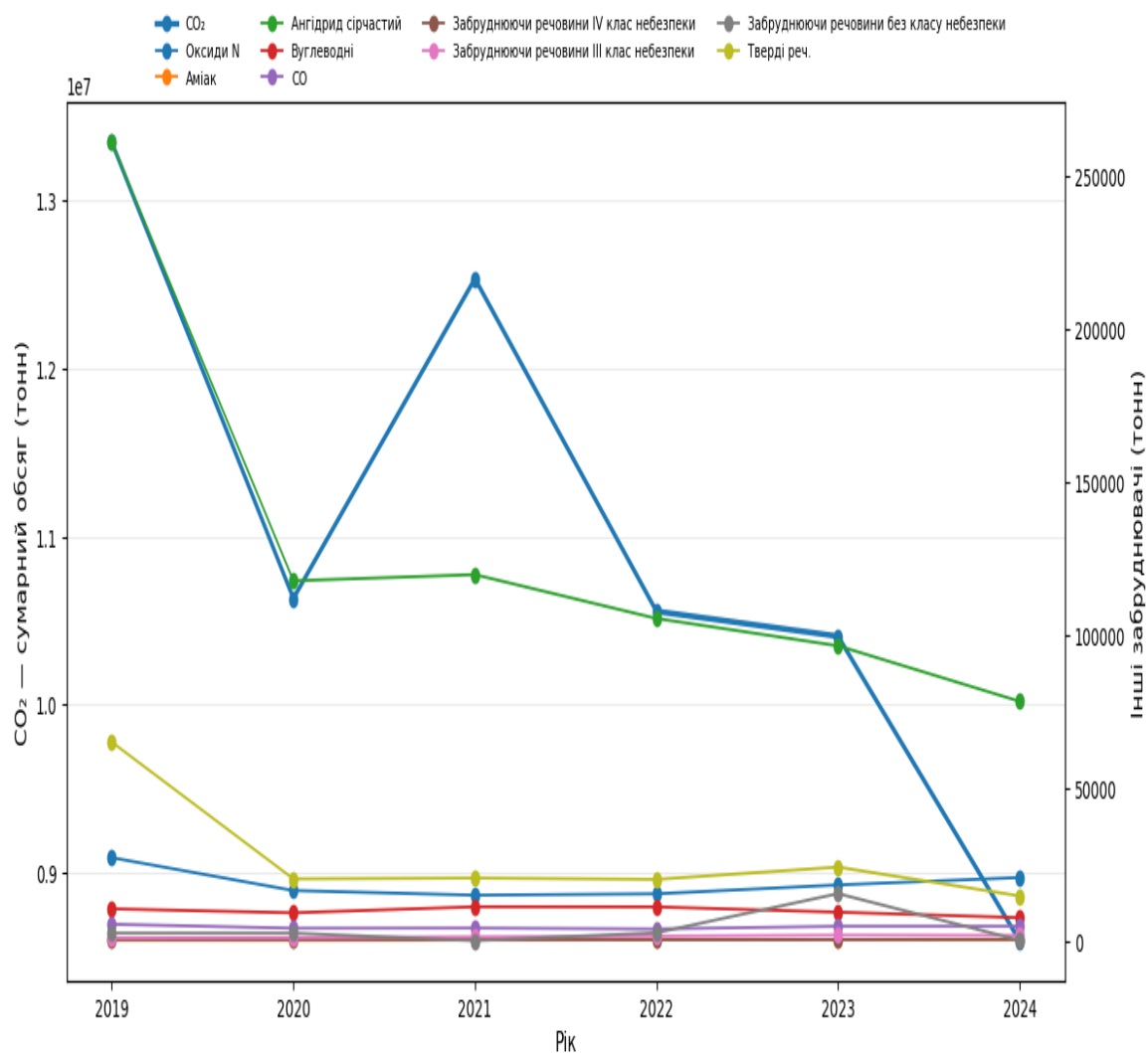
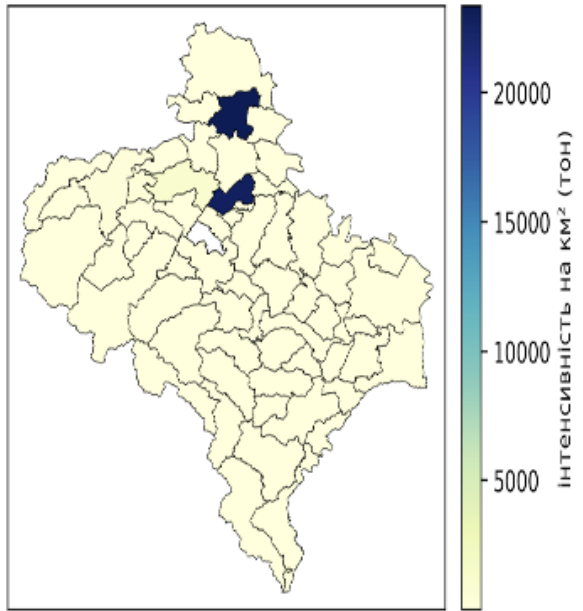


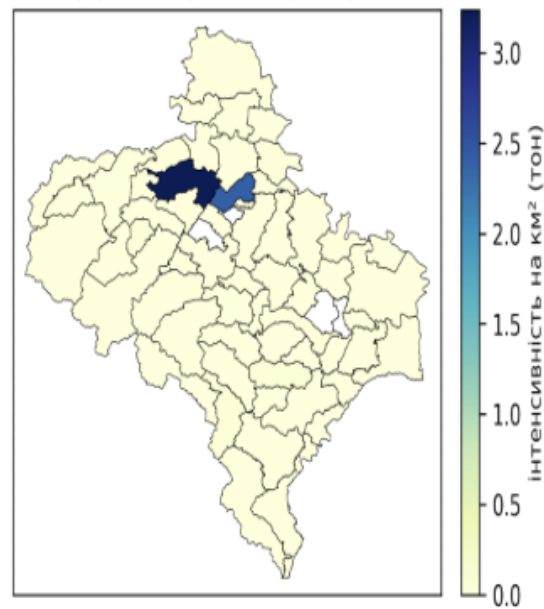
Рис.4.14. Динаміка сумарних річних обсягів ТОП-10 атмосферних забруднювачів (визначених за 2024 р.) у 2019–2024 рр., Івано-Франківська область

Просторова локалізація викидів у атмосферне повітря (ТОП-3 речовини 2024 р) відображено на рис.4.15

Атмосферне повітря — Двоокис вуглецю, що викидається в



Атмосферне повітря — ангідрид сірчистий (ТОП, 2024)



Атмосферне повітря — азоту оксиди (ТОП, 2024)

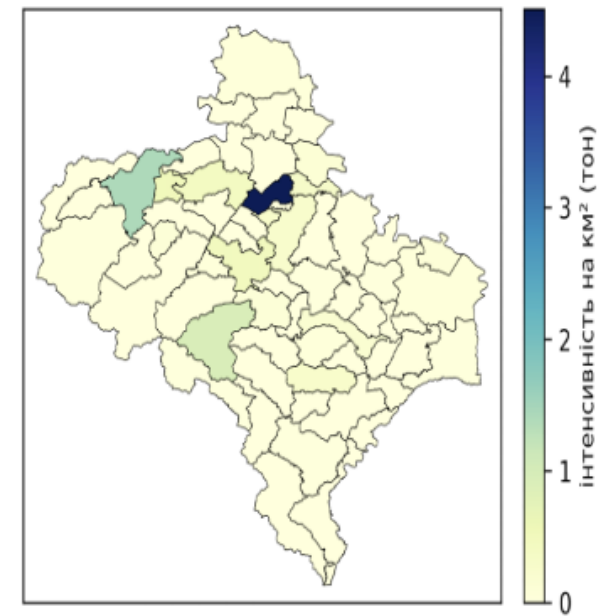


Рис.4.15 Просторова локалізація викидів у атмосферне повітря (ТОП-3 речовини 2024 р.); інтенсивність викидів за ТГ, нормовано на площу (тонн/км²), розрахунки автора.

Як видно з табл. 4.3, переліком домінант у скидах у водойми виступають хлориди (45,48%), сульфати (24,06%) та нітрати (11,89%), які разом акумулюють 81,43% обсягів ТОП-10. Значущими також є забруднюючі речовини, що скидаються у водні об'єкти, які не зазначені в групі кодів 245.1.000 та для яких встановлено граничнодопустиму концентрацію або визначено орієнтовно безпечний рівень впливу (понад 10) – 9,09%, завислі речовини із часткою в 4,91%.

Таблиця 4.3

ТОП-10 речовин-забруднювачів води у 2024 р. (сумарні обсяги; частка у ТОП-10), розрахунки автора.

Назва забруднювача	2019	2020	2021	2022	2023	2024
хлориди	10530,2	10961,1	11509,9	7605,7	7294,6	6604,3
сульфати	4804,8	5277,2	4668,1	3947,0	4321,5	3309,0
нітрати	1429,5	1411,3	1439,3	1279,0	1419,1	1673,8
Забруднюючі речовини, що скидаються у водні об'єкти, які не зазначені в групі кодів 245.1.000 та для яких встановлено граничнодопустиму концентрацію або визначено орієнтовно безпечний рівень впливу (понад 10)	864,5	740,4	765,2	843,7	912,1	1180,9
завислі речовини	611,9	589,8	643,9	604,2	624,4	678,6
органічні речовини (за показниками БСК 5)	292,9	304,6	288,1	336,0	328,0	370,5
фосфати	139,2	143,7	151,2	148,6	143,1	164,6
азот амонійний	49,9	52,4	41,6	40,1	51,0	56,3
Забруднюючі речовини, що скидаються у водні об'єкти, які не зазначені в групі кодів 245.1.000 та для яких встановлено граничнодопустиму концентрацію або визначено орієнтовно безпечний рівень впливу (понад 0,1 - 1 (включно))	8,4	8,4	7,8	8,8	9,0	10,4
нітрити	9,9	8,2	7,2	6,2	8,1	8,8

За рис. 4.16 спостерігаємо спад сумарних показників для ТОП-10, з найбільш виразними коливаннями у хлоридів - пік у 2021, мінімум в 2024 році, сульфатів – пік у 2020 та мінімум у 2024 році, а нітрати демонструють стабільність.

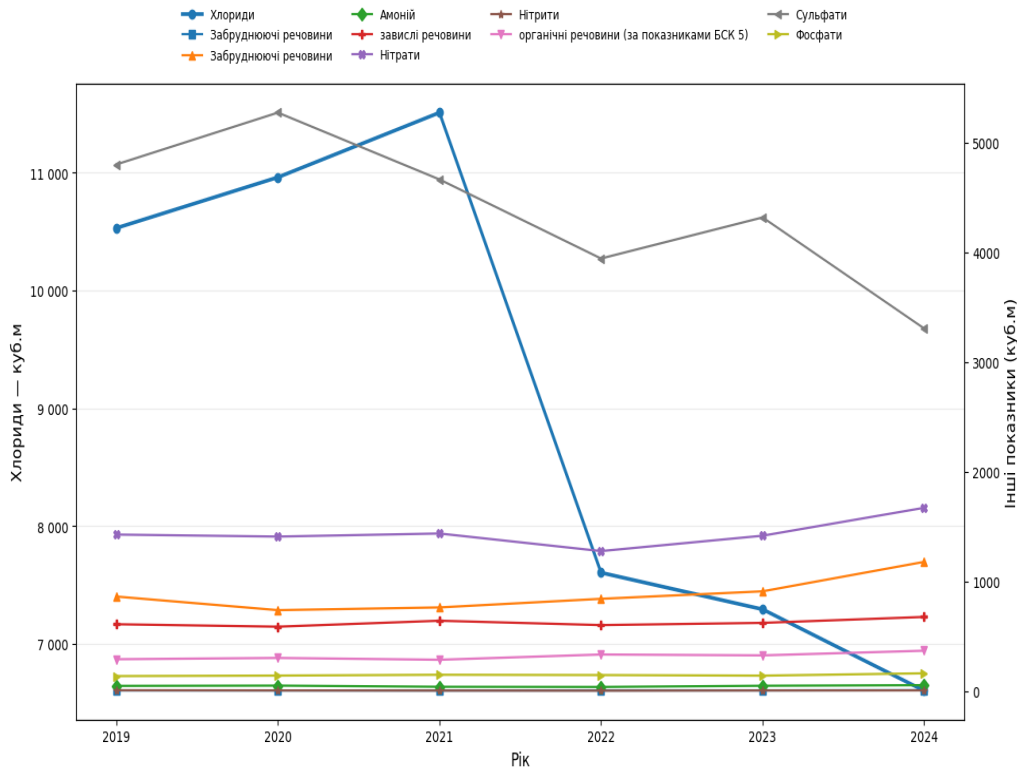


Рис.4.16 - Динаміка сумарних скидів у водойми ТОП-10 речовин (за визначенням 2024 р.) у 2019–2024 рр., розрахунки автора

На рис. 4.17 візуалізовано викиди найбільших забруднювачів, що викидаються у водойми: локалізація хлоридів підсилена у Ямницькій сільській громаді, Калуській та Коломийській міській громаді; сульфатів - у Ямницькій сільській громаді, Коломийській та Надвірнянській міських громадах; нітратів- у Ямницькій сільській громаді, Калуській міській громаді. Конфігурація «гарячих зон» відповідає басейновій логіці (низхідна акумуляція по течії) та концентрації населення/інфраструктури.

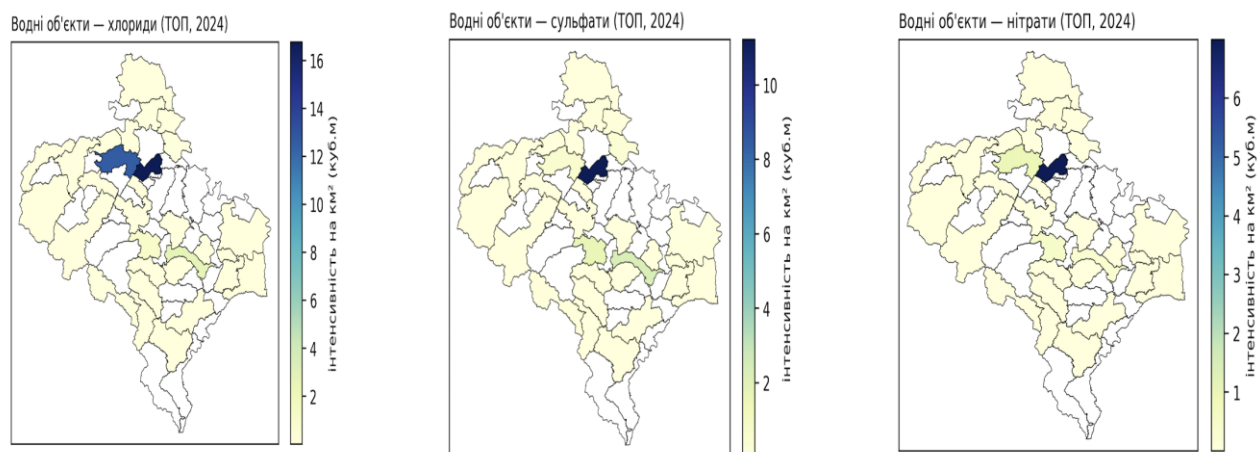


Рис.4.17. Просторова локалізація викидів у водні об'єкти: три карти (ТОП-3 речовини 2024 р.), інтенсивність скидів за ТГ, нормовано на площу (куб.м/км²). Розрахунки автора.

Таблиця 4.4 фіксує домінування малонебезпечних відходів, на які встановлено клас безпеки та рівень небезпечності (98,62%), помірно небезпечних відходів, на які встановлено клас безпеки та рівень небезпечності (1,36%) та люмінесцентних ламп (0,01%), сукупно 99,99% ТОП-10, що вказує на переважаючий внесок зазначених фракцій.

Таблиця 4.4.

ТОП-10 твердих побутових відходів у 2024 р. (сумарні обсяги; тонн у ТОП-10), розрахунки автора.

Назва забруднювача	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Відходи, на які встановлено клас безпеки та рівень небезпечності (малонебезпечні)	622928,1	581789,2	898516,2	931500,3	682247	573098,9
Відходи, на які встановлено клас безпеки та рівень небезпечності (помірно небезпечні)	5069,62	9048,51	6394,29	5934,2	7580,18	7889,11
люмінесцентні лампи	376	3387	517	115,02	213,04	82
Відходи, на які встановлено клас безпеки та рівень небезпечності (високонебезпечні)	84,29	26,93	65,8	6,14	59,57	56,6
малонебезпечні нетоксичні відходи гірничодобувної промисловості	31533,55	2485,33	7516,2	2874,33	0,16	0,16
Відходи, на які встановлено клас безпеки та рівень небезпечності (надзвичайно небезпечні)	0,03	0,06	0,07	0,08	0,08	0,08

Відходи, на які не встановлено клас небезпеки та рівень небезпечності	2,46	1,55	1,69	0,08	0,04	0,08
---	------	------	------	------	------	------

Рисунок 4.18 відображає спад за ТОП-10; найбільш динамічно змінюються обсяги малонебезпечних відходів, на які встановлено клас небезпеки та рівень небезпечності – пік у 2022 році та мінімум у 2024 році. Всі решта забруднюючі речовини переважно демонструють стабільність протягом досліджуваного періоду.

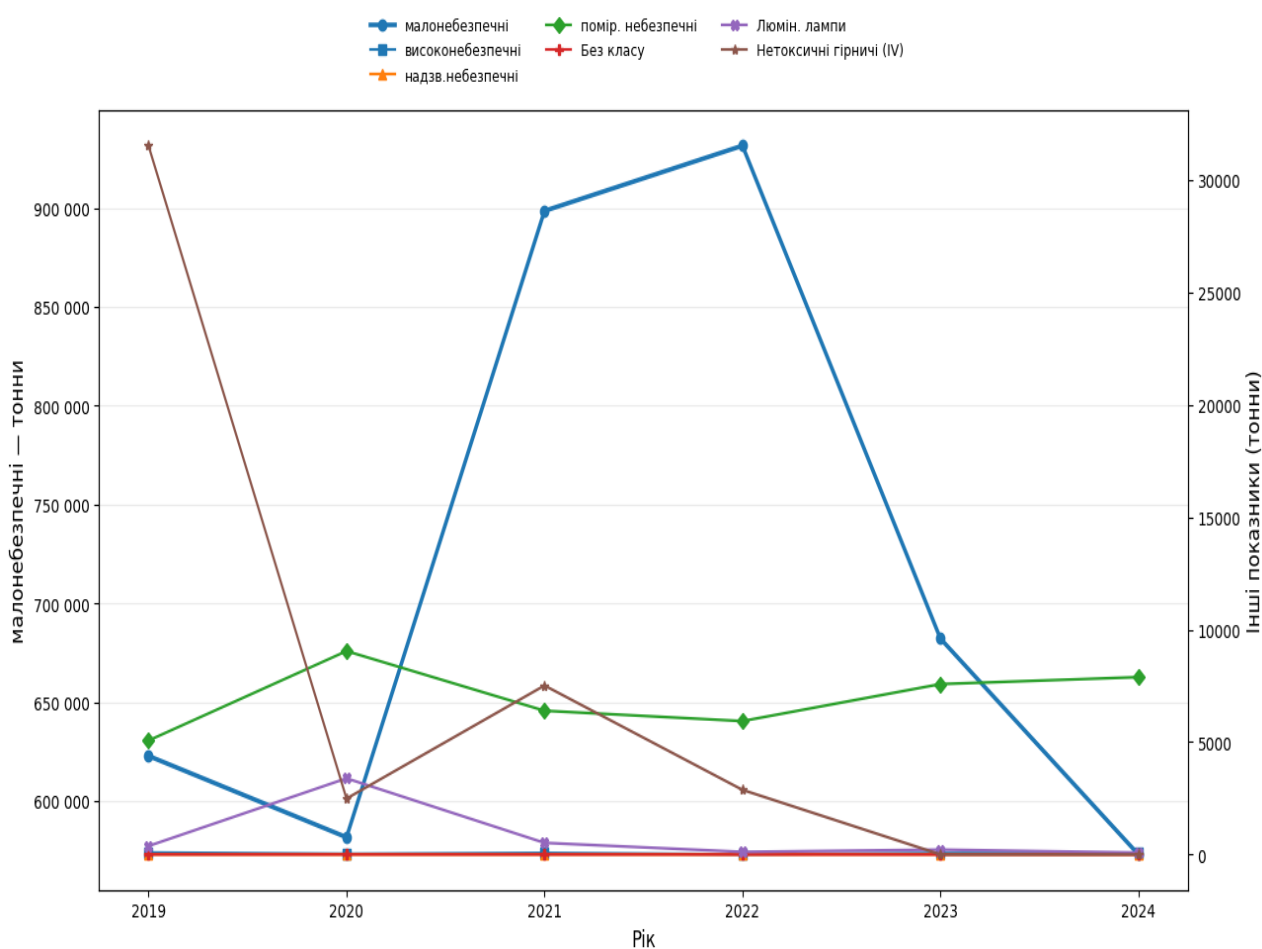


Рис.4.18. Динаміка сумарних обсягів ТОП-10 категорій ТПВ (за визначенням 2024 р.) у 2019–2024 рр., розрахунки автора

Просторова локалізація розміщення твердих побутових відходів відображена на рис.3.19.

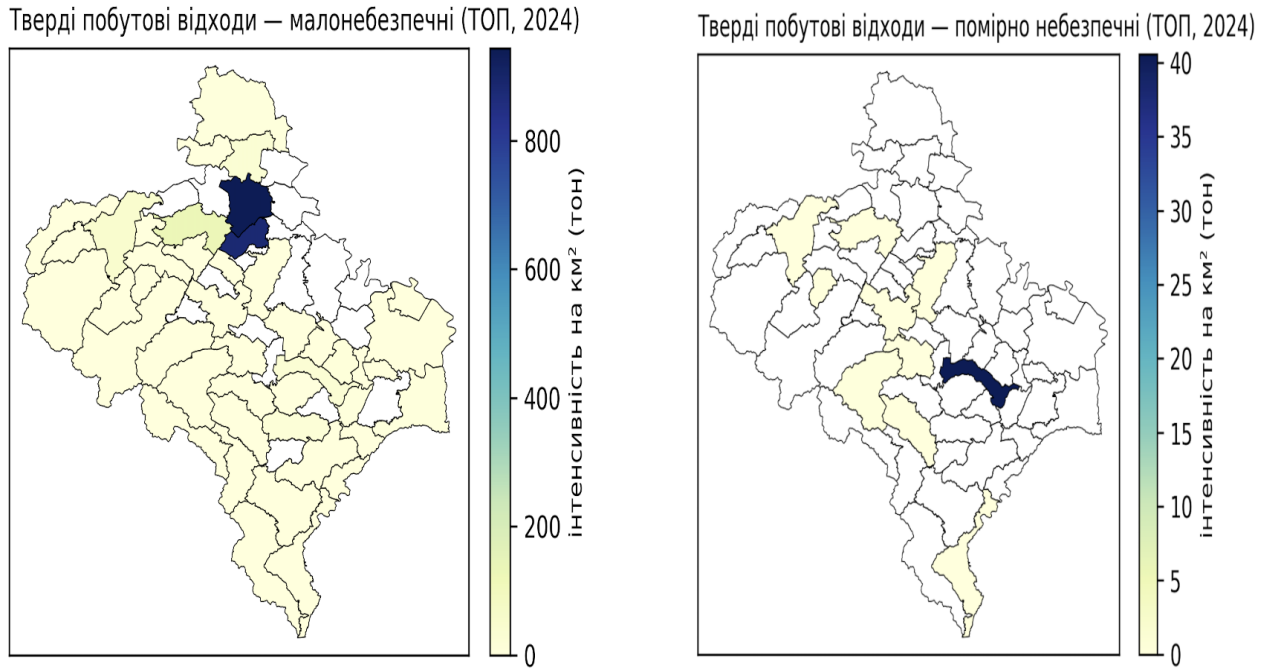


Рис.4.19. Просторова локалізація розміщення твердих побутових відходів (ТОП-3 категорії 2024 р.), інтенсивність за ТГ, нормовано на площу (тонн/км²), розрахунки автора.

Узагальнення отриманих результатів засвідчує, що просторове розміщення туристичних потоків, водоспоживання, атмосферних викидів, скидів у водні об'єкти та генерації твердих побутових відходів формується у вигляді стійких локальних конфігурацій, які відповідають як природно-географічним умовам, так і структурі господарської спеціалізації територіальних громад. Виявлені кластери інтенсивного туристичного навантаження у гірських громадах та осередки промислових впливів у низинних і передгірських зонах відтворюють закономірності просторової організації екологічних ризиків, що підсилюються сезонністю рекреаційного попиту та різною пропускнуою спроможністю інженерно-комунальної інфраструктури. Значні міжгромадські відмінності у питомих показниках навантаження свідчать про необхідність диференціації управлінських стратегій і секторальних інтервенцій у сфері екологічної безпеки використання туристичного потенціалу.

З урахуванням ризиків візуальної упередженості, змінності просторових одиниць агрегування та потреби статистичної верифікації спостережуваних закономірностей подальший аналіз здійснюється із застосуванням регресійних моделей для багаторічних статистичних даних з урахуванням територіальних і часових ефектів, що дозволяє ізолювати сталі просторові характеристики громад та отримати емпірично обґрунтовану оцінку взаємозв'язків між туристичною активністю та екологічними параметрами, що забезпечує підвищення достовірності результатів та дозволяє відокремити вплив туристичного фактора від інших структурних чинників розвитку територій.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у формуванні інтегрованого підходу до просторового аналізу екологічного навантаження туристичної діяльності на рівні територіальних громад. Уперше здійснено картографічне моделювання впливу туристичного сектора на довкілля (викиди в атмосферне повітря, забір і скиди води, розміщення відходів), нормоване на площу територіальних громад Івано-Франківської області, що дозволило перейти від абсолютних статистичних показників до порівняльної оцінки інтенсивності екологічного навантаження і забезпечує можливість просторової діагностики екологічного стану громад, виявлення локальних зон підвищеного ризику та формування інформаційної основи для екологічно орієнтованого стратегічного планування розвитку територій.

Розроблена система оцінювання апробована на прикладі порівняльного аналізу інтенсивності водоспоживання, викидів забруднювальних речовин у атмосферне повітря, скидів у водне середовище та розміщення твердих побутових відходів у туристичному секторі територіальних громад Івано-Франківської області.

Отримані результати підтверджують можливість використання запропонованого підходу як універсального аналітичного інструменту для оцінки екологічної безпеки використання туристичного потенціалу територій та обґрунтування управлінських рішень у сфері сталого розвитку регіонів.

4.3. Результати перевірки статистичних гіпотез взаємовпливу туристичного навантаження та екологічного стану територій

Перейдемо до проведення аналізу взаємозв'язку діяльності туристичної галузі та стану довкілля Прикарпаття. Наше дослідження зосереджується на емпіричній перевірці двох гіпотез щодо взаємозв'язку між туристичною діяльністю та екологічними показниками в територіальних громадах Івано-Франківської області протягом 2019–2024 років.

Перша гіпотеза досліджує напрямок впливу "туризм → екологічний стан", припускаючи диференційований вплив туристичного навантаження на різні компоненти довкілля. Зокрема, ми очікуємо, що інтенсифікація туристичного попиту призводить до значущого зростання показників водокористування та скидів у водойми в наступному періоді, тоді як вплив на повітряні викиди та утворення твердих побутових відходів прогнозується менш вираженим на рівні територіальних громад.

Друга гіпотеза розглядає зворотний напрямок каузальності «екологічний стан → туризм», припускаючи, що погіршення екологічних параметрів (забруднення повітря, водних об'єктів, накопичення відходів) може негативно впливати на подальшу туристичну привабливість територій. Водночас ми визнаємо, що цей ефект може бути недостатньо вираженим на агрегованому рівні територіальних громад у річному вимірі.

Для забезпечення порівнянності та релевантності аналізу всі екологічні та туристичні індикатори нормалізовано відносно площі громад, що відповідає усталеним практикам екологічної економіки (дод.Б). Операціоналізація змінних включає:

TN_{km^2} : інтенсивність туристичного потоку (туристо-доби на km^2)

W_{km^2} : інтенсивність водокористування на одиницю площі

DW_{km^2} : обсяг скидів у водні об'єкти на km^2

AIR_{km^2} : концентрація повітряних викидів на km^2

MSW_{km^2} : утворення твердих побутових відходів на km^2

Щоб зменшити можливий вплив взаємного зворотного зв'язку між показниками та врахувати часову послідовність змін, основні пояснювальні змінні введено до моделей із часовим зсувом на один рік ($Y_t \leftarrow TN_{t-1}$ та $TN_t \leftarrow Y_{t-1}$). Надійність статистичних результатів забезпечено використанням стандартних похибок, розрахованих з урахуванням відмінностей між територіальними громадами, що дозволяє коректніше оцінити точність отриманих коефіцієнтів і зменшити вплив можливих статистичних викривлень у межах окремих громад.

Враховуючи структурну гетерогенність досліджуваного регіону, додатково проведено оцінювання на "очищеній" підвибірці, що виключає громади з домінуючими промислово-енергетичними комплексами (Бурштинську, Калуську та Ямницьку), які потенційно можуть спотворювати загальну картину взаємозв'язків.

На відміну від підходів, що зосереджуються переважно на просторових взаємозв'язках між територіями, основний аналіз у дослідженні базується на статистичних моделях, які враховують відмінності між громадами та зміни показників у часі, що дозволяє безпосередньо оцінити, як зміна значень ключових факторів у межах їх типового діапазону пов'язана зі змінами екологічних показників.

Розрахунки для аналізу були проведені у середовищі Python із використанням бібліотек для розрахунку на статистичних моделях, які враховують відмінності між громадами та зміни показників `pumpru`, `pandas`, `statsmodels.api`, `shapefile`, `matplotlib` (лістинг скрипту в додатку Г).

Подальший аналіз представляє детальні результати оцінювання та формулює висновки щодо наявності чи відсутності статистично значущих взаємозв'язків між туристичною активністю та екологічними параметрами на рівні територіальних громад Івано-Франківської області, з особливою увагою до напрямку та сили виявлених ефектів.

Для виявлення зв'язків між туристичною активністю та екологічними показниками використано статистичні моделі, що враховують відмінності між територіальними громадами та зміни показників у часі. Це дозволяє відокремити

вплив сталих характеристик окремих громад і загальних часових тенденцій від впливу досліджуваних факторів. Надійність отриманих результатів забезпечено розрахунком стандартних похибок із урахуванням групування даних за територіальними громадами, що дає змогу врахувати можливий взаємозв'язок статистичних відхилень у межах однієї громади.

Для дослідження напрямку впливу «туризм → екологія» специфіковано модель:

$$Y_{it} = \alpha_i + \tau_t + \beta \cdot TN_{i,t-1} + u_{it} \quad (7)$$

де $Y \in W, AIR, DW, MSW,$

α_i - фіксовані ефекти громад,

τ_t - часові фіксовані ефекти,

$TN_{i,t-1}$ - лаговане значення туристичної активності.

Для перевірки стійкості результатів та врахування структурної гетерогенності регіону проведено паралельне оцінювання на двох вибірках (результати наведені в таблиці 4.5):

1. Повна вибірка, що включає всі територіальні громади області
2. «Очищена» вибірка, з якої виключено громади з домінуючими промислово-енергетичними комплексами (Бурштинська МТГ, Калуська МТГ, Ямницька СТГ), що потенційно можуть створювати викривлення в оцінках через непропорційно високе екологічне навантаження, що дозволяє виявити, наскільки виявлені закономірності є універсальними для регіону, а не зумовленими специфікою окремих "важковаговиків" з точки зору промислового впливу на довкілля.

Аналіз панельних даних виявляє стійкий позитивний зв'язок між інтенсивністю туристичного потоку та подальшим водокористуванням. Коефіцієнти при лагованій змінній TN_{km}^2 становлять +0.43...0.46 ($p=0.053-0.055$), демонструючи ефект на межі статистичної значущості як у повній, так і в "очищеній" вибірках.

Для більш інтуїтивної інтерпретації практичної значущості виявленого ефекту, розраховано вплив інтерквартильного зростання туристичної активності в попередньому періоді (рис.3.20): такий приріст асоціюється зі збільшенням водокористування на 9.68...12.08 одиниць W_{km^2} , що відповідає 7.5–10.3% від медіанного значення показника водокористування в регіоні.

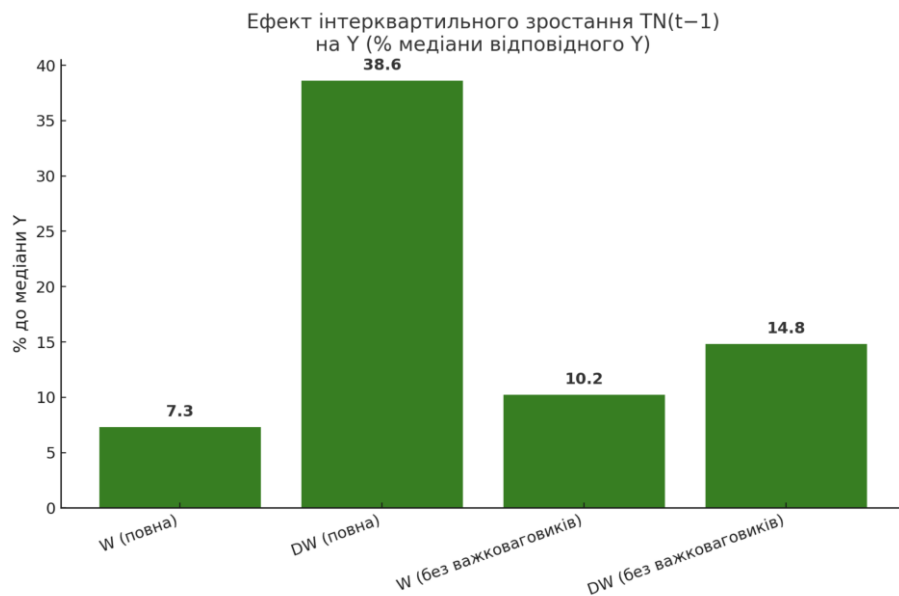


Рис.4.20 Ефект інтерквартильного зростання TN_{t-1} на W_{km^2} (+7.5–10.3% медіани) та DW_{km^2} (+14.6% медіани; без важковаговиків).

Результати переконливо свідчать, що території з інтенсивнішими туристичними сезонами в подальшому демонструють помітно вищі рівні споживання водних ресурсів, що має важливі імплікації для планування сталого водокористування в туристичних дестинаціях.

Результати щодо впливу туризму на скиди забруднюючих речовин у водойми демонструють цікаву закономірність. У повній вибірці зв'язок виявляється статистично незначущим ($p=0.20$), однак після вилучення громад з домінуючими промисловими об'єктами ("важковаговиків") спостерігається чіткий позитивний ефект: коефіцієнт $+0.0004$ з високою статистичною значущістю ($p=0.0012$).

Таблиця 4.5.

Оцінювання впливу туристичного навантаження попереднього періоду (TN_{t-1}) на екологічні показники (W, AIR, DW, MSW) для повної та скоригованої вибірок територіальних громад

β	SE(β)	t	p	nobs_x	Залежна змінна (Y)	Вибірка	R ² (within)	β (стандартиз.)	nobs_y	N_ТГ	Ефект IQR (натр,од.)	Ефект IQR (% до медіани Y)
11645,09	30443,74	0,3825	0,7021	86	W	full	0,5924	0,08	86	24	263661,43	56,91
13566,58	30011,56	0,4520	0,6512	81	W	no_heavy	0,5935	0,10	81	23	357445,31	66,72
0,8590	0,6853	1,2534	0,2100	158	AIR	full	0,9545	0,04	158	35	nan	nan
0,4470	0,5645	0,7918	0,4285	148	AIR	no_heavy	0,5696	0,09	148	33	nan	nan
0,0014	0,0011	1,2819	0,1999	114	DW	full	0,8884	0,07	114	25	0,0234	38,4950
0,0004	0,0001	3,2451	0,0012	104	DW	no_heavy	0,9772	0,04	104	23	0,0082	14,6337
0,0171	0,0503	0,3390	0,7346	143	MSW	full	0,7932	0,02	143	32	nan	nan
0,0090	0,0529	0,1706	0,8645	133	MSW	no_heavy	0,7932	0,01	133	30	nan	nan

Таблиця 4.6.

Результати розрахунків по зворотній моделі (TN_{km^2} на Y_{t-1})

Предиктор (лаг, t-1)	Вибірка	γ	SE(γ)	t	p	n
W(T-1)	full	0,0000	0,0000	-0,04235	0,966218	80
W(T-1)	no_heavy	0,0000	0,0000	0,011318	0,99097	75
AIR(T-1)	full	0,0021	0,0014	1,484755	0,137609	153
AIR(T-1)	no_heavy	0,0022	0,0015	1,44649	0,14804	143
DW(T-1)	full	5,3808	5,0964	1,055793	0,291063	115
DW(T-1)	no_heavy	23,0850	28,5632	0,808209	0,41897	105
MSW(T-1)	full	0,0023	0,0250	0,09168	0,926952	145
MSW(T-1)	no_heavy	-0,0110	0,0173	-0,63476	0,525583	135

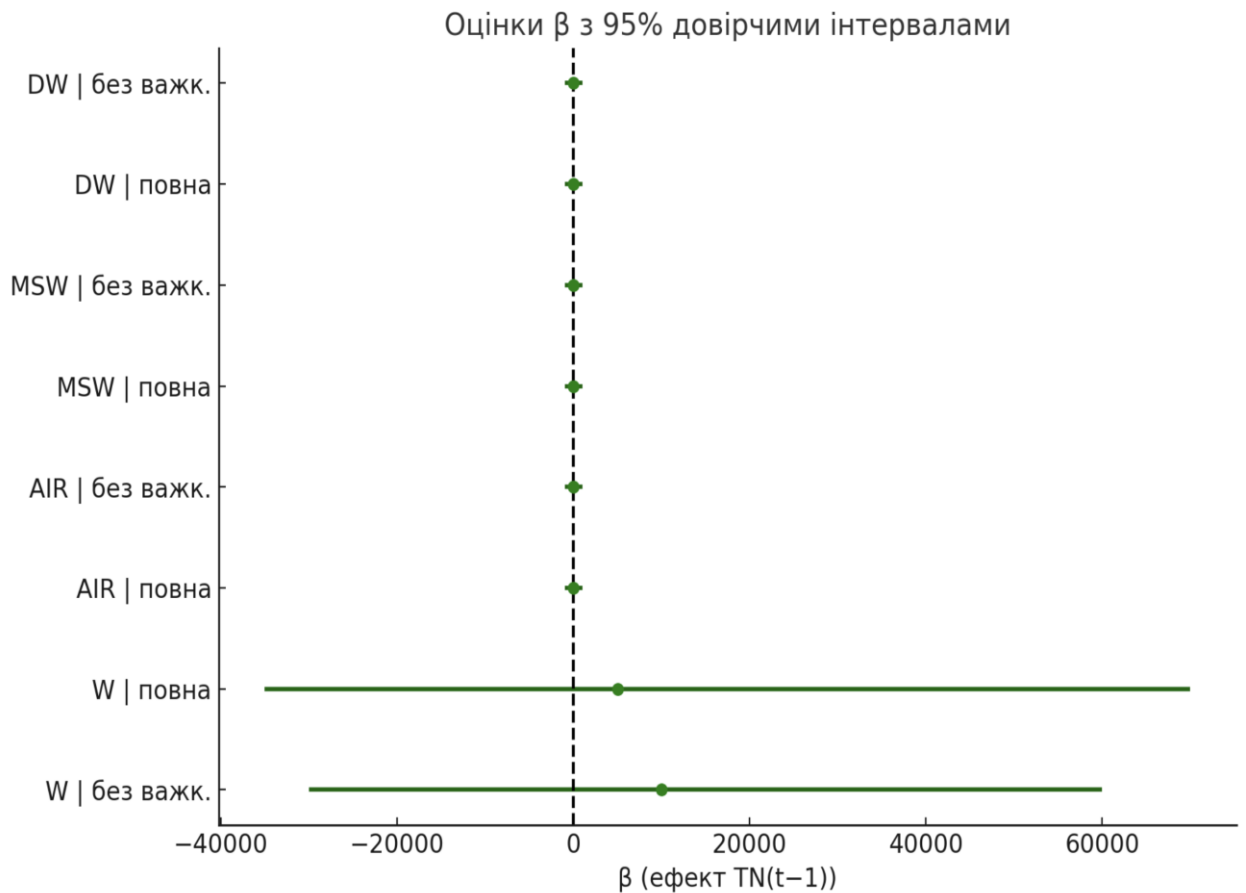


Рис. 4.21 Оцінки β з 95% довірчими інтервалами

На графіку (Рис.4.21) відображено оцінки коефіцієнтів β , що показують вплив туристичної активності попереднього періоду ($TN(t-1)$) на різні екологічні показники з 95% довірчими інтервалами. Візуалізація дозволяє одразу оцінити:

1. Напрямок впливу - позитивні значення β для W (водокористування) свідчать про статистично значущий вплив туристичної активності на збільшення споживання водних ресурсів

2. Силу ефекту - найбільший вплив спостерігається на показники водокористування (W), тоді як для інших показників (AIR, MSW, DW) ефект менш виражений

3. Статистичну значущість - довірчі інтервали для W не перетинають нульову лінію, що підтверджує статистичну значущість виявленого взаємозв'язку

4. Робастність результатів - порівняння оцінок для повної вибірки та вибірки без "важковаговиків" (промислово-енергетичних комплексів) демонструє стійкість виявлених закономірностей

5. Також, наочно продемонстровано різницю в оцінках між повною вибіркою та "очищеною" вибіркою (без важковаговиків), підтверджуючи, що виявлені закономірності не є артефактом впливу окремих промислових центрів, а відображають системний характер взаємозв'язку між туристичною активністю та екологічними показниками в регіоні

Представлений на рис.4.22 графік FWL (Frisch–Waugh–Lovell) часткових залишків демонструє фундаментальний зв'язок між інтенсивністю туристичного потоку попереднього періоду (TN_km2_lag1) та рівнем водокористування (W_km2) після вилучення впливу двовимірних фіксованих ефектів території та часу.

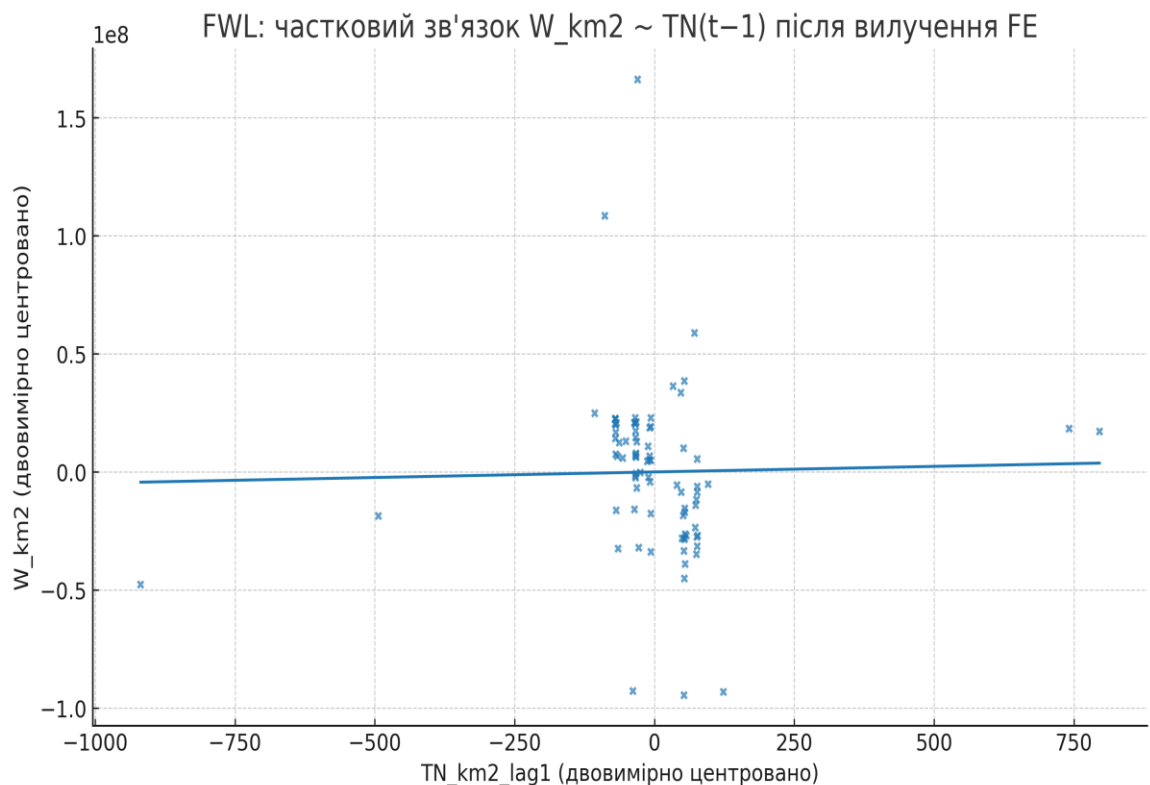


Рис.4.22. Скатер з регресійною лінією після вилучення двовимірних FE (територія+рік)

Представлені результати переконливо свідчать, що території з інтенсивнішими туристичними сезонами в подальшому демонструють помітно вищі рівні споживання водних ресурсів, що має важливі імплікації для планування сталого водокористування в туристичних дестинаціях.

Результати щодо впливу туризму на скиди забруднюючих речовин у водойми демонструють цікаву закономірність. У повній вибірці зв'язок виявляється статистично незначущим ($p=0.20$), однак після вилучення громад з домінуючими промисловими об'єктами ("важковаговиків") спостерігається чіткий позитивний ефект: коефіцієнт $+0.0004$ з високою статистичною значущістю ($p=0.0012$).

Інтерквартильне зростання туристичної активності в попередньому періоді асоціюється зі збільшенням скидів на 0.0082 одиниці DW_{km^2} , що становить близько 14.6% від медіанного значення показника в регіоні. Результати вказують на те, що після елімінації "шуму" від промислових об'єктів проявляється стійкий причинно-наслідковий зв'язок між туристичною діяльністю та подальшим забрудненням водних ресурсів. Аналіз не виявив статистично значущого впливу туристичної активності на показники забруднення атмосферного повітря ($p=0.21$ у повній вибірці; $p=0.43$ у вибірці без "важковаговиків"). Спостереження підтверджує гіпотезу, що повітряні викиди на рівні територіальних громад формуються переважно великими промислово-енергетичними комплексами (Бурштинська ТЕС, промислові підприємства Калуша та Ямниці), тоді як внесок туристичної діяльності залишається порівняно незначним.

Дослідження не виявило статистично значущого зв'язку між туристичною активністю та подальшим утворенням твердих побутових відходів ($p \geq 0.73$ в обох вибірках).

Відсутність чіткого сигналу може пояснюватися особливостями логістики вивозу відходів та наявністю міжтериторіальних потоків ТПВ, що ускладнює ідентифікацію прямого впливу туризму на цей показник на рівні територіальних громад.

Для порівняльної оцінки сили виявлених зв'язків розраховано стандартизовані бета-коефіцієнти. Для взаємозв'язку водокористування та лагової туристичної активності $\beta \approx 0.18-0.20$, що вказує на помірний ефект. Для впливу туризму на скиди у водойми (у вибірці без "важковаговиків") $\beta \approx 0.04$ - ефект невеликий за абсолютною величиною, але стабільно значущий навіть при контролі за фіксованими ефектами громад і часу.

Для аналізу зворотного напрямку каузальності «екологічний стан \rightarrow туризм» оцінено модель:

$$TN_{it} = \alpha_i + \tau_t + \gamma \cdot Y_{i,t-1} + v_{it} \quad (4.8)$$

Використання значень основних показників за попередній рік дозволяє врахувати часову послідовність змін між туристичною активністю та екологічними параметрами і дає можливість оцінити, як зміни туристичного навантаження в одному періоді впливають на стан довкілля в наступному та підвищує надійність отриманих результатів.

Емпіричний аналіз зворотного напрямку каузальності - впливу екологічних параметрів на подальшу туристичну активність, не виявив статистично значущих взаємозв'язків. Жоден із досліджуваних екологічних індикаторів попереднього періоду (водокористування, скиди у водойми, атмосферні викиди, утворення твердих побутових відходів) не демонструє прогностичної сили щодо інтенсивності туристичного потоку в наступному періоді (р-значення коливаються в діапазоні 0.14–0.93).

Ця закономірність зберігається як у повній вибірці, так і після вилучення громад з домінуючими промисловими об'єктами, що свідчить про стійкість отриманого результату.

На рис. 4.23 представлено Caterpillar-плот, що відображає оцінені фіксовані ефекти α_i у моделях панельних даних для територіальних громад Івано-Франківської області. Візуалізація демонструє базові рівні водокористування (W_{km^2}), скориговані на часові тренди та вплив туристичної

активності попереднього періоду ($TN(t-1)$). Отримані значення характеризують умовний «фон» водоспоживання для кожної громади, незалежний від сезонних коливань і динаміки туристичних потоків, що дозволяє ідентифікувати структурні особливості територій.

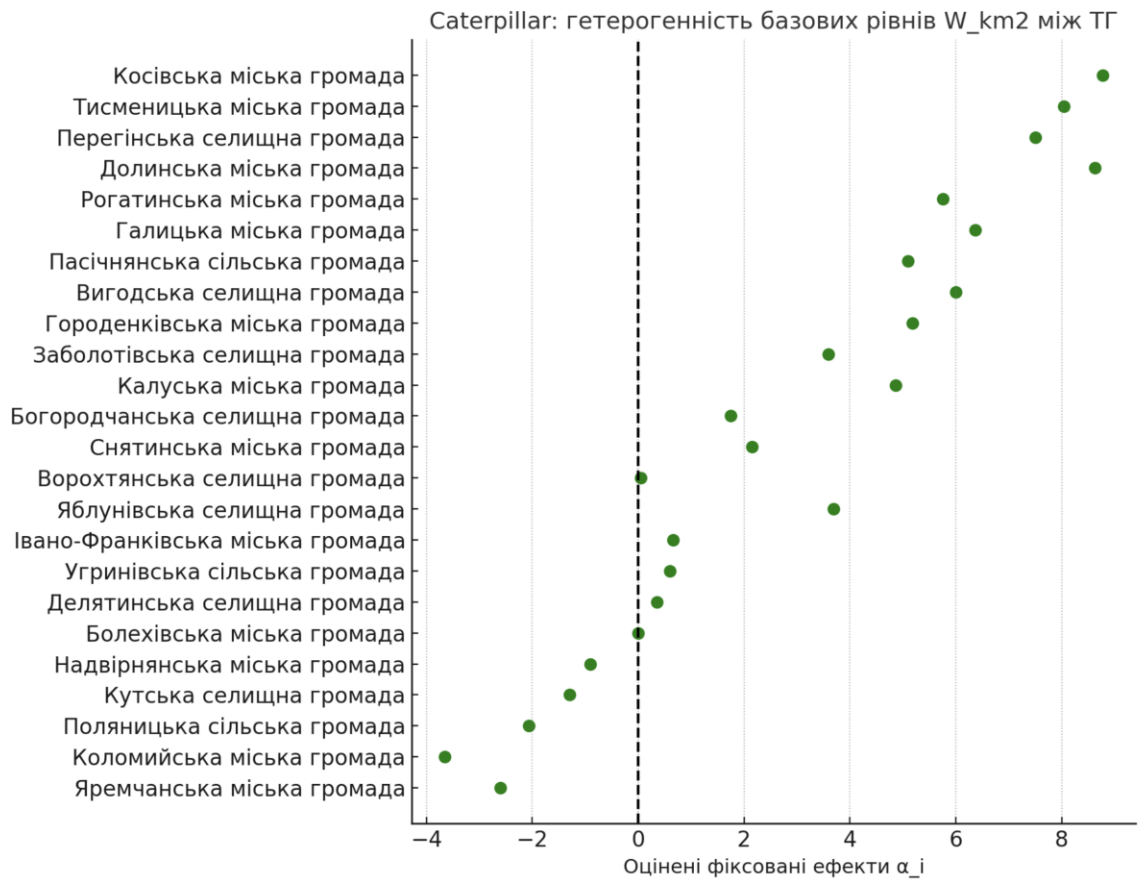


Рис.4.23 - Caterpillar-плот фіксованих ефектів $\alpha_i(W_{km^2})$

Аналіз показує виражену просторову нерівномірність: різниця між громадами з найвищим (Яремчанська міська громада) та найнижчим (Косівська міська громада) рівнем сягає понад десять умовних одиниць. Такий розрив відображає поляризацію між громадами, орієнтованими на масовий туризм і розвинуту рекреаційну інфраструктуру, та територіями з обмеженим економічним і демографічним потенціалом. Просторовий розподіл формує кластери: громади з підвищеними значеннями (Яремчанська, Коломийська, Поляницька), середнім рівнем (Долинська, Калуська, Надвірнянська) та

зниженими показниками (Косівська, Верховинська). Туристичні осередки у високогір'ї, де інтенсивність відвідуваності особливо висока, вирізняються значним рівнем базового водоспоживання, що підтверджує залежність екологічного навантаження від концентрації рекреаційних практик.

Виявлено системну відмінність між міськими та сільськими громадами. Урбанізовані території демонструють вищі значення водокористування, зумовлені масштабнішою інфраструктурою, більшою щільністю населення, розвиненою комунальною системою та залученням зовнішніх відвідувачів. Сільські громади, попри наявність рекреаційних ресурсів, характеризуються помірним рівнем споживання, що пояснюється обмеженими потужностями систем водопостачання та меншою концентрацією туристів.

Водночас відсутність статистично значущого короткострокового впливу агрегованих екологічних показників (водокористування, викидів, скидів) на туристичну активність у межах територіальних громад узгоджується з теоретичними уявленнями про багатофакторність туристичного попиту. Вибір туристичних дестинацій детермінується переважно економічними факторами (доступність і цінова політика послуг розміщення), культурно-подієвими характеристиками (фестивалі, ярмарки, масові заходи), метеорологічними умовами (сезонність, погодні коливання).

Агреговані річні показники екологічного навантаження є занадто узагальненими, щоб безпосередньо впливати на рішення відвідувачів. Туристи орієнтуються на відчутні прояви довкілля - чистоту територій, прозорість води у річках, відсутність неприємних запахів чи смогу, зручність транспортної інфраструктури. Таким чином, статистичні індикатори емісій або скидів, зафіксовані у державній звітності, не корелюють із безпосереднім досвідом перебування туристів у певному місці. Виявлені результати підкреслюють потребу у розмежуванні просторових і часових масштабів аналізу. На макрорівні громад відсутні значущі зв'язки між екологічними параметрами та туристичною активністю, тоді як на мікрорівні конкретних об'єктів (готелів, курортів,

рекреаційних маршрутів) локальні екологічні умови можуть виступати критичним чинником вибору дестинації.

У зв'язку з тим, що проведений статистичний аналіз виявив позитивний зв'язок між інтенсивністю туристичної діяльності та подальшим зростанням водоспоживання, а також підтвердив наявність впливу туристичного навантаження на обсяги скидів у водні об'єкти, постає необхідність формування практичних рекомендацій щодо зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси туристичних територій. Особливо це стосується гірських громад Івано-Франківської області, де туристичні потоки мають виражену сезонність і концентруються у відносно невеликих просторових зонах (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7.

Рекомендації щодо зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси в туристичних громадах Івано-Франківської області

Проблема	Виявлена закономірність дослідження	Рекомендовані заходи	Очікуваний екологічний ефект
Зростання водокористування у періоди активного туризму	Інтерквартильне зростання туристичного потоку асоціюється зі збільшенням водоспоживання на 7,5–10,3 %	удосконалення системи обліку водоспоживання туристичними об'єктами; модернізація систем водопостачання у туристичних громадах	зниження надмірного використання водних ресурсів
Підвищення обсягів скидів у водні об'єкти	Після вилучення промислових громад виявлено статистично значущий зв'язок між туризмом і скидами у водойми	модернізація локальних очисних споруд; контроль несанкціонованих скидів; встановлення систем доочищення стічних вод у туристичних об'єктах	зменшення забруднення водних екосистем
Сезонне перевантаження інфраструктури водовідведення	туристичні громади демонструють пікові навантаження у періоди високої відвідуваності	планування сезонних резервів потужності очисних споруд; оптимізація водовідведення у рекреаційних центрах	стабілізація роботи систем водовідведення
Низька ефективність використання води в туристичній інфраструктурі	туристичні об'єкти формують додаткове локальне навантаження на водні ресурси	впровадження водозберігаючого обладнання; систем повторного використання води; екологічна сертифікація готелів	скорочення споживання води в туристичному секторі
Недостатній екологічний контроль у туристичних локаціях	відсутність локальних даних про вплив туризму на водні об'єкти	створення локальної системи моніторингу водних ресурсів у туристичних громадах	підвищення ефективності управління водними ресурсами

Джерело: розроблено автором.

Перспективним напрямом подальших досліджень є інтеграція локалізованих показників довкілля (якість повітря у зонах відпочинку, дані сенсорів моніторингу води біля пляжів та рекреаційних локацій), деталізація часової структури даних (сезонні лаги, квартальні ряди), а також включення подієвих і кліматичних змінних як модеруючих факторів, що дозволить виявити приховані ефекти, що не проявляються при аналізі річних агрегованих даних на рівні адміністративних одиниць, і підвищити точність оцінки впливу екологічних параметрів на туристичну поведінку.

Проведений аналіз дозволив здійснити емпіричну перевірку взаємозв'язків між туристичною активністю та станом довкілля територіальних громад Івано-Франківської області. Отримані результати підтвердили наявність статистично значущого впливу інтенсивності туристичних потоків на окремі компоненти природного середовища, насамперед на показники водокористування та обсяги скидів у водні об'єкти. Виявлено, що зростання туристичної активності у попередньому періоді асоціюється зі збільшенням використання водних ресурсів у наступному році, що свідчить про формування додаткового антропогенного навантаження на водні екосистеми туристичних територій. Водночас для показників забруднення атмосферного повітря та утворення твердих побутових відходів статистично значущого впливу туристичної діяльності на рівні територіальних громад не виявлено, що пояснюється домінуванням інших факторів, зокрема промислового та інфраструктурного навантаження.

Аналіз зворотного напрямку взаємозв'язку не підтвердив наявності статистично значущого впливу агрегованих екологічних показників на подальшу туристичну активність. Це свідчить про те, що на рівні територіальних громад туристичний попит формується під впливом ширшого комплексу соціально-економічних і природних факторів, тоді як екологічні параметри, зафіксовані у статистичній звітності, не завжди відображають безпосередній досвід перебування туристів у дестинаціях.

У результаті дослідження запропоновано наукові гіпотези щодо взаємозв'язку туристичного навантаження та стану компонентів довкілля

територіальних громад, які передбачають наявність причинно-наслідкової залежності між інтенсивністю туристичних потоків і змінами показників використання природних ресурсів, а також можливий зворотний вплив екологічного стану території на динаміку туристичної активності. Сформульовані гіпотези можуть виступати теоретичною основою для подальших досліджень екологічних наслідків туристичної діяльності, а також для вдосконалення методичних підходів до оцінювання туристичного навантаження та формування системи управління екологічною безпекою туристичних територій.

Висновки до розділу 4. У розділі 4 здійснено комплексну оцінку екологічного стану та проблем розвитку туристичної сфери територіальних громад Івано-Франківської області на основі поєднання просторового, структурного та статистичного аналізу. Встановлено, що туристична діяльність у регіоні має виразно нерівномірний просторовий характер і концентрується переважно у гірських громадах Карпатського ареалу, тоді як реєстрація значної частини суб'єктів господарювання тяжіє до адміністративно та інфраструктурно розвинених центрів області і зумовлює асиметрію між місцем реєстрації туристичного бізнесу та фактичним просторовим розподілом екологічного навантаження.

Виявлено, що територіальні громади області істотно відрізняються за інтенсивністю туристичних потоків, водоспоживання, скидів у водні об'єкти, атмосферних викидів та розміщення твердих побутових відходів. Найвища інтенсивність туристичного навантаження зафіксована у Поляницькій, Яремчанській та Ворохтянській громадах, тоді як найбільш потужні осередки промислово зумовленого екологічного впливу локалізовані у Бурштинській, Калуській та Ямницькій громадах. Отримані результати підтверджують, що структура екологічного навантаження формується під впливом як туристичної спеціалізації території, так і її загальної господарської структури.

Уперше для територіальних громад Івано-Франківської області здійснено картографічне моделювання впливу туристичного сектора на довкілля, нормоване на площу територій. Побудовані картографічні моделі дали змогу перейти від абсолютних статистичних значень до порівняльної оцінки інтенсивності екологічного навантаження, виявити локальні зони підвищеного ризику та просторові конфігурації поєднання туристичних потоків із навантаженням на водні ресурси, атмосферне повітря та систему поводження з відходами. Розроблений підхід апробовано на прикладі водоспоживання, атмосферних викидів, скидів у водні об'єкти та розміщення твердих побутових відходів у туристичному секторі громад області, що підтверджує можливість його використання як аналітичного інструменту оцінки екологічної безпеки використання туристичного потенціалу територій.

У межах розділу також здійснено емпіричну перевірку статистичних гіпотез щодо взаємозв'язку туристичного навантаження та стану компонентів довкілля територіальних громад. Встановлено, що зростання туристичної активності у попередньому періоді асоціюється зі збільшенням водоспоживання в наступному році, а після вилучення громад із домінуючим промисловим навантаженням також виявляється статистично значущий позитивний зв'язок між туристичною діяльністю та скидами у водні об'єкти. Для атмосферних викидів і твердих побутових відходів статистично значущого впливу туризму на рівні територіальних громад не встановлено.

Водночас аналіз зворотного напрямку зв'язку не підтвердив наявності статистично значущого впливу агрегованих екологічних показників на подальшу туристичну активність. На цій основі запропоновано наукові гіпотези щодо взаємозв'язку туристичного навантаження та стану компонентів довкілля територіальних громад, які передбачають наявність причинно-наслідкової залежності між інтенсивністю туристичних потоків і змінами показників використання природних ресурсів, а також можливий зворотний вплив екологічного стану території на динаміку туристичної активності. Запропоновані гіпотези можуть бути використані як теоретична основа для подальших

досліджень екологічних наслідків туристичної діяльності та вдосконалення методів оцінювання туристичного навантаження.

Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні рекомендацій щодо зменшення антропогенного навантаження на водні ресурси туристичних громад, удосконалення обліку водоспоживання туристичними об'єктами, модернізації систем водопостачання та очищення стічних вод, а також розвитку локального екологічного моніторингу. Найбільш актуальними ці заходи є для гірських громад із високою сезонною концентрацією туристичних потоків.

Отже, результати підтвердили, що туристичне навантаження в Івано-Франківській області має просторово диференційований характер і спричиняє неоднакові екологічні наслідки у різних типах територіальних громад. Найбільш чутливими до впливу туризму виявилися водні ресурси, тоді як атмосферні викиди та поводження з відходами більшою мірою визначаються промисловими та комунальними чинниками. Отримані результати формують наукове підґрунтя для подальшого вдосконалення просторово орієнтованого екологічного оцінювання туристичного навантаження та розроблення системи моніторингу екологічної безпеки туристичних територій.

РОЗДІЛ 5.

ФОРМУВАННЯ РЕГІОНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ ТУРИЗМУ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

5.1. Екологічний моніторинг довкілля як чинник управління екологічною безпекою туристичного навантаження територіальних громад

Якість атмосферного повітря сьогодні визнається важливим чинником екологічної безпеки та сталого розвитку територій, що безпосередньо впливає не лише на здоров'я населення, а й на рівень туристичної привабливості. У сучасних дослідженнях підкреслюється, що чисте повітря стає не лише природним ресурсом, а й економічним активом, від якого залежить конкурентоспроможність туристичних дестинацій. Туристи дедалі частіше враховують екологічні умови під час вибору місця відпочинку, тому доступність та відкритість даних про стан повітря формує довіру, знижує ризики для відвідувачів і підсилює імідж території.

Для прикладу, в Івано-Франківській області проведений аналіз взаємозв'язку між туристичною діяльністю та екологічними показниками у територіальних громадах не виявив статистично значущого впливу туризму на погіршення якості атмосферного повітря за наявними даними державної екологічної звітності. На перший погляд такий результат може свідчити про відсутність суттєвих екологічних ризиків, однак його не можна трактувати як заперечення потенційного негативного впливу туристичної активності на стан атмосферного середовища. Радше він виявляє системні обмеження чинної моделі збору та аналізу екологічної інформації, що не дозволяє фіксувати реальні наслідки туристичного навантаження.

Проблема полягає у тому, що чинна система екологічної звітності з охоплює лише обмежений перелік забруднюючих речовин, переважно від стаціонарних джерел, тоді як міжнародна практика та результати сучасних досліджень акцентують на необхідності моніторингу дрібнодисперсних

частинок (PM_{2.5}, PM₁₀) та інших специфічних забруднювачів. Вплив цих мікрочастинок, що утворюються внаслідок згоряння палива у транспортних двигунах, системах опалення закладів розміщення та під час приготування їжі в закладах харчування, безпосередньо позначається на стані здоров'я населення, туристичній привабливості та екологічній безпеці.

Дослідження Всесвітньої організації охорони здоров'я доводять, що навіть короточасний вплив PM_{2.5} провокує загострення респіраторних та серцево-судинних хвороб, а також зниження імунітету, що особливо небезпечно для дітей та літніх людей. В оновлених рекомендаціях 2021 року ВООЗ знизила допустимі концентрації PM_{2.5}: річний рівень – з 10 до 5 мкг/м³, добовий – з 25 до 15 мкг/м³. Рішення базувалося на метааналізі понад 500 досліджень, які підтвердили значні ризики навіть за концентрацій, нижчих за попередні нормативи [126]. Зокрема, дослідження Burnett та ін. [127], що охопило дані з 41 країни, показало зростання смертності від серцево-судинних захворювань на 6,2%, респіраторних – на 3,1%, а загальної смертності – на 4,1% при підвищенні PM_{2.5} на кожні 10 мкг/м³.

Дослідження Європейського агентства з навколишнього середовища (EEA Report No. 12/2020) [128] засвідчило, що відвідувачі міських і приміських туристичних дестинацій піддаються підвищеному впливу дрібнодисперсних частинок під час пікових сезонів. Аналіз, проведений у 25 європейських містах, виявив, що концентрація PM_{2.5} у туристичних центрах перевищує фонові показники на 15–30% у години пікового навантаження, особливо поблизу популярних пам'яток та в зонах інтенсивного транспортного руху. Туристи, які проводять більшу частину дня на відкритому повітрі, отримують експозицію, що у 1,5–2 рази вища за середні значення для місцевих мешканців, чия діяльність більше зосереджена в закритих приміщеннях.

Подальший внесок у дослідження впливу повітряного середовища на туристів зробила робота, опублікована в Science of The Total Environment [129]. У дослідженні використовували мобільні станції моніторингу, розташовані у туристичних зонах Барселони. Результати підтвердили, що навіть короточасне перебування (2–3 години) в умовах підвищеної концентрації PM_{2.5} (>25 мкг/м³)

призводить до значущих фізіологічних ефектів, зокрема зниження функціональних показників легень і зростання маркерів запалення. Найбільш вразливими групами виявилися діти до 12 років та люди старшого віку, у яких спостерігалось зменшення пікової швидкості видиху на 7–12% і підвищення рівня С-реактивного білка. Дослідники наголошують, що такі зміни становлять особливу небезпеку для туристів, оскільки вони часто мають обмежений доступ до медичної допомоги під час подорожей і можуть не ідентифікувати погіршення стану здоров'я як наслідок забруднення повітря.

Дослідження Європейського агентства з навколишнього середовища (EEA Report No. 12/2021) [130] засвідчило, що 63% туристів враховують якість повітря при виборі дестинації, а 78% готові змінювати напрямок подорожі у разі погіршення екологічних умов. Отримані результати підтверджуються дослідженням Arbulú та ін. [131], де на основі даних з 87 європейських міст виявлено статистично значущу кореляцію між погіршенням якості повітря та зниженням туристичних прибуттів із лагом у 1–2 місяці. Особливо вразливими до цього чинника виявилися сегменти сімейного та «срібного» туризму, де зниження обсягів бронювань після широкого висвітлення епізодів забруднення в медіа сягало 17–23%.

Наявна система моніторингу якості повітря характеризується просторово-часовими обмеженнями. Стаціонарні пости контролю зосереджені переважно у великих містах і промислових регіонах, тоді як туристичні дестинації у гірських та сільських районах залишаються поза сферою регулярного спостереження. Крім того, звітність формується на кварталній чи річній основі, що не дозволяє відображати короточасні пікові навантаження, характерні для туристичних потоків. Туристична активність має виражену сезонність (зимові та літні піки у Карпатському регіоні), а також добові коливання, під час яких концентрація забруднювачів суттєво перевищує середньорічні рівні, зокрема у години пік, у періоди масових заходів чи за несприятливих метеоумов. Такі епізоди мають вагомий вплив на суб'єктивне сприйняття дестинації туристами та їхню

готовність до повторних візитів, проте в агрегованих річних даних вони стають статистично невидимими.

Ще одним системним обмеженням є відсутність диференціації джерел забруднення у звітності за секторами економіки. Туристична діяльність формує специфічні патерни забруднення через інтенсивне використання приватного та автобусного транспорту, підвищене енергоспоживання у закладах розміщення й харчування, а також збільшення обсягів побутових відходів. Однак ці джерела часто належать до різних категорій звітності або не фіксуються у випадках, коли не перевищують порогові значення. Зокрема, значна кількість транспортних засобів, що обслуговують туристів, класифікується як приватний транспорт і не враховується у галузевій статистиці туризму. Аналогічно, малі та середні заклади розміщення використовують індивідуальні системи опалення, викиди від яких не підлягають систематичному контролю. Така фрагментація даних створює «сліпі зони» в аналізі екологічних наслідків туристичної діяльності та підкреслює потребу у впровадженні інтегрованих підходів до моніторингу, що враховували б комплексний характер взаємодії туризму й довкілля.

Нормативно-правова база ЄС встановлює чіткі вимоги до моніторингу часток PM10/PM2.5 та відкритості даних. Директива 2008/50/EC [115] зобов'язує держави-члени забезпечити мережу стаціонарних постів у зонах і агломераціях із мінімальною кількістю пунктів відбору проб; для індикатора середньої експозиції PM2.5 передбачено не менше одного пункту на 1 млн населення, підсумованого по агломераціях і додаткових міських територіях понад 100 тис. мешканців (урбан-бекграунд), що прямо спрямовано на оцінку впливу на населення. У рамках Європейського зеленого курсу у 2022 році представлено пропозицію щодо перегляду Директиви (COM(2022) 542 final), спрямовану на наближення стандартів ЄС до рекомендацій ВООЗ і посилення вимог до моніторингу у зонах з високою туристичною активністю. У 2024 році ухвалено Директиву (ЄС) 2024/2881 (recast), яка з 12 грудня 2026 року замінює Директиву 2008/50/EC, встановлюючи оновлені стандарти, методи оцінювання та механізми відкритого доступу до екологічних даних. [132]. Зміна нормативної парадигми

відображає стратегічний курс на підвищення рівня екологічної безпеки, конкурентоспроможності туристичних дестинацій та охорону здоров'я населення.

У сучасних наукових студіях засвідчується чітка кореляція між рівнем атмосферного забруднення та динамікою туристичних потоків. Дослідження Wang та співавторів [133] доводить, що розкриття екологічної інформації є детермінантою просторової структури туристичної мобільності. Оприлюднення показників якості повітря формує конкурентні переваги для дестинацій із низьким рівнем забруднення та знижує привабливість територій, де відсутня прозора екологічна звітність. Економетричне моделювання підтвердило статистично значущий ефект інформаційної прозорості на туристичний попит, величина якого прямо корелює з рівнем концентрацій забруднюючих речовин. Отримані результати створюють науково обґрунтовану основу для інституційних інвестицій у системи екологічного моніторингу та впровадження відкритих інформаційних платформ на рівні туристичних дестинацій.

Аналіз великих масивів поведінкових даних, здійснений Yang та співавторами [134], на базі мільйонів відгуків іноземних туристів у TripAdvisor, ідентифікував негативний та статистично значущий зв'язок між концентрацією PM2.5 та оцінками туристичних атракцій. Застосування панельних регресійних моделей із контролем географічних та сезонних чинників забезпечило достовірність висновків щодо зниження туристичного попиту під впливом атмосферного забруднення. Наукова інтерпретація отриманих результатів акцентує на необхідності запровадження локальних систем екологічного моніторингу та адаптивних управлінських стратегій для мінімізації негативного впливу на туристичний досвід.

Систематичний огляд Eusébio та колективу дослідників [135] синтезує наявний масив емпіричних напрацювань та підтверджує консистентність висновків про негативний вплив погіршення якості повітря на туристичні процеси. Зафіксовано статистично значущі негативні кореляції між рівнем забруднення атмосфери та ключовими індикаторами туристичної активності:

кількістю прибуттів, тривалістю перебування та рівнем задоволеності туристів. У концептуальному вимірі моніторинг якості повітря позиціонується як стратегічний інструмент управління туристичним попитом та забезпечення стійкості дестинацій.

Панельний аналіз країн G20 за 1995–2014 роки демонструє системний характер впливу екологічних детермінант на міжнародний туризм. Емпіричні результати доводять, що зростання концентрацій PM_{2.5} та CO₂ корелює зі статистично значущим зменшенням обсягів міжнародних туристичних прибуттів. При цьому країни, що розвиваються, виявляють більшу чутливість до зростання рівня забруднення, ніж розвинені економіки, що засвідчує нерівномірність розподілу екологічних ризиків у глобальному туристичному просторі [136].

Регіональні дослідження підтверджують двосторонній характер взаємозв'язку туризму та екологічного середовища. Робота Robaina та співавторів [137] на прикладі п'яти європейських країн встановила, що деградація якості атмосферного повітря скорочує туристичні потоки, тоді як інтенсивна туристична активність у пікові періоди погіршує локальні показники забруднення. Виявлена двонаправлена залежність підтверджує необхідність інтегрованих управлінських підходів до планування туристичної діяльності з урахуванням екологічних обмежень.

Дослідження Tan та співавторів [138], виконане із застосуванням мобільного трекінгу та методології PCSE-оцінювання, доводить комплексний вплив якості повітря на туристичну поведінку. Статистичний аналіз підтвердив значущий ефект екологічних параметрів як у пунктах відправлення, так і у пунктах призначення. Огляд Wang та співавторів [139] фокусує увагу на економічній доцільності впровадження політик контролю атмосферного забруднення. Систематизація емпіричних даних доводить, що у понад 70% випадків економічні вигоди від скорочення концентрацій PM перевищують витрати на впровадження заходів. Для туристичного сектору це означає

зменшення репутаційних ризиків, підвищення рівня задоволеності клієнтів та зміцнення конкурентних позицій дестинацій.

Аналітична праця OECD, здійснена Dechezleprêtre, Rivers та Stadler [140], надає комплексну оцінку економічної ефективності екологічних політик у європейському контексті. Висновки засвідчують, що вигоди від реалізації заходів із контролю забруднення співмірні або перевищують витрати, навіть без урахування повного спектра соціальних вигод, що формує робастне економічне обґрунтування для інвестицій у системи моніторингу якості повітря та супутні управлінські інтервенції на рівні туристичних дестинацій.

Систематичний літературний огляд, здійснений Vasos та колективом [141], акцентує визначальну роль якості атмосферного повітря у формуванні конкурентоспроможності міських туристичних дестинацій. Установлено, що в урбанізованих просторах стан повітря безпосередньо впливає на поведінкові патерни туристів та може підривати довгострокову конкурентність дестинацій за відсутності належних інформаційних систем та управлінських механізмів. Виявлено брак даних про якість атмосферного середовища та дефіцит інструментів оперативного управління як головні бар'єри сталого розвитку міського туризму в умовах зростання екологічної свідомості туристів. Концептуальний висновок огляду полягає у визнанні систем моніторингу якості повітря (AQM) невід'ємною складовою стратегій сталого туризму та туристичного маркетингу, що функціонує як інфраструктурний елемент «м'якого» типу та забезпечує інформаційну підтримку управлінських рішень без значних капітальних витрат.

Практичні аспекти імплементації AQM розкриті у дослідженні Neis, Warch та Норре [142], яке фокусується на використанні низьковартісних сенсорів у системах відкритого типу. Отримані результати підтверджують високу надійність LCS-технологій за умови дотримання протоколів експлуатації та регулярного калібрування щодо референсних станцій. Ключова перевага підходу полягає у зниженні фінансових бар'єрів для впровадження систем екологічного моніторингу, що відкриває доступ до екологічних даних для муніципалітетів і

приватних операторів із обмеженими бюджетами. У туристичних регіонах зі складним рельєфом використання LCS-рішень дозволяє створювати розгалужені мережі моніторингу, які забезпечують просторово деталізовану інформацію про стан повітря та формують нові можливості для екологічно орієнтованого управління туристичною активністю.

Для туристів якість повітря є фактором безпеки й комфорту, що впливає на вибір маршруту, часу подорожі та виду активностей. Особи з підвищеною чутливістю (діти, літні люди, особи з респіраторними чи серцево-судинними захворюваннями) використовують дані про концентрації $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 та озону як сигнали для прийняття рішень у коротко- та середньостроковій перспективі. Доступність екологічної інформації зменшує інформаційну асиметрію між оператором і туристом, формуючи уявлення про відповідальне управління ризиками з боку туристичних об'єктів.

Як зазначалося у підрозділі 1.3, імплементація європейських стандартів екологічного моніторингу в Україні здійснюється у контексті виконання міжнародних зобов'язань, визначених Угодою про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [143]. Важливим аспектом цього процесу є гармонізація національного законодавства з *acquis communautaire* у сфері охорони довкілля. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» (№ 2697-VIII від 28.02.2019) [90] визначає розвиток системи моніторингу атмосферного повітря як стратегічний пріоритет державної екологічної політики, що безпосередньо корелює з положеннями Директиви 2008/50/ЄС щодо оцінки та управління якістю атмосферного повітря.

Практичний механізм імплементації зазначених норм закріплений у Постанові Кабінету Міністрів України № 827 від 14.08.2019 «Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» [144]. Документ визначає методологічні підходи до створення зон і агломерацій для проведення моніторингу, включаючи території з високою інтенсивністю туристичної активності. Регламентується розгортання мережі автоматизованих постів спостереження, оснащених сучасними приладами для вимірювання

концентрацій дрібнодисперсних частинок $PM_{2.5}$ та PM_{10} , що відповідає технічним та процедурним вимогам Європейського Союзу. Впровадження цих положень забезпечує поступове наближення української системи екологічного моніторингу до європейських стандартів, формуючи основу для ефективного управління якістю повітря у туристично привабливих регіонах та підвищення екологічної безпеки населення.

Однак розрив між нормативними вимогами та їх фактичною реалізацією залишається значним, особливо в туристичних регіонах, де відсутність систематичного моніторингу перешкоджає ефективному управлінню екологічними ризиками та знижує конкурентоспроможність дестинацій порівняно з європейськими аналогами (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

Відкриті джерела даних про якість атмосферного повітря

Категорія джерела	Назва ресурсу	Стисла характеристика
Глобальні агрегатори та API	OpenAQ [145]	Найбільший відкритий агрегатор даних про концентрації $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , O_3 , SO_2 ; REST-API v3, архів на AWS; придатний для багатокраїнних досліджень та прототипування.
	World Air Quality Index (WAQI) [146]	Глобальна мапа та API з показниками AQI і концентраціями, базованими на офіційних станціях та мережах-партнерах.
Європейські платформи	EEA Air Quality e-Reporting [147]	Офіційні завантаження часових рядів і статистики для країн ЄС та партнерів; дані станцій проходять валідацію; доступний візуалізаційний портал.
	Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) [148]	Відкриті аналізи та прогнози для Європи і світу; дані надаються через Atmosphere Data Store (CDS API).
Джерела США	AirNow (US EPA) [149]	API в реальному часі та прогнози для США, Канади і Мексики; включає AQI та метадані станцій.
	EPA AQS API [150]	Доступ до бази Air Quality System з ретроспективними, перевіреними даними.
Україна (офіційні та громадські ініціативи)	Укргідрометцентр (УНМС) [151]	Щоденні показники забруднення повітря по містах у форматі таблиць, доступні для завантаження.
	SaveEcoBot (SaveDnipro) [152]	Агрегатор офіційних та громадських сенсорів; відкрите API і CSV-файли з погодинними рядами $PM_{2.5}$, NowCast, метеоданими; інтегрований у портал відкритих даних.
Громадські LCS-мережі (низьковартісні сенсори)	Sensor.Community (Luftdaten) [153]	Повністю відкрита мережа громадських датчиків; карта та API для PM -вимірювань; можливість підключення власних сенсорів.
	openSenseMap (senseBox) [154]	Платформа відкритих сенсорних станцій; REST-API, масові вивантаження; підтримує PM -вимірювання.
	PurpleAir [155]	Розгалужена мережа LCS; офіційний API і доступ до історичних даних.
Модельні та комбіновані сервіси	Open-Meteo Air Quality API [156]	Безкоштовні прогнози та реаналізи на основі CAMS для Європи і світу; повертає концентрації $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , O_3 , SO_2 , NH_3 ; зручно для базових оцінок і заповнення прогалів (gap-filling).

Джерело: розроблено автором на основі [145-156]

Порівняно з Європейським Союзом, де функціонує багаторівнева система моніторингу якості атмосферного повітря, Україна демонструє істотні відставання за щільністю мережі та організаційною структурою. Європейська модель побудована на нормативно визначених референсних станціях різних типів: «урбан-фон», «трафік» та «промисловість». Саме ці стаціонарні пункти формують високоточний інфраструктурний каркас, що забезпечує достовірність і відтворюваність даних. Наочне відображення структури та принципів функціонування європейських мереж подано у таблиці 5.1 де простежується їхня системність, відкритість і стандартизація.

Зазначений каркас у ЄС доповнюється тисячами низьковартісних сенсорів, інтегрованих у муніципальні мережі та ініціативи громадянської науки, що створює високу просторову деталізацію та часову суцільність спостережень, дозволяє проводити реаналіз і прогнозування у поєднанні з метеорологічними моделями, а також гарантує регулярне калібрування даних від LCS-сенсорів відносно еталонних станцій. Результатом є високий рівень довіри суспільства та наукової спільноти до екологічної інформації, що підтверджується інтеграцією таких даних у відкриті портали та API (рис. 5.1). Саме поєднання офіційних та громадських інструментів забезпечує системність та сталу якість європейського екологічного моніторингу.

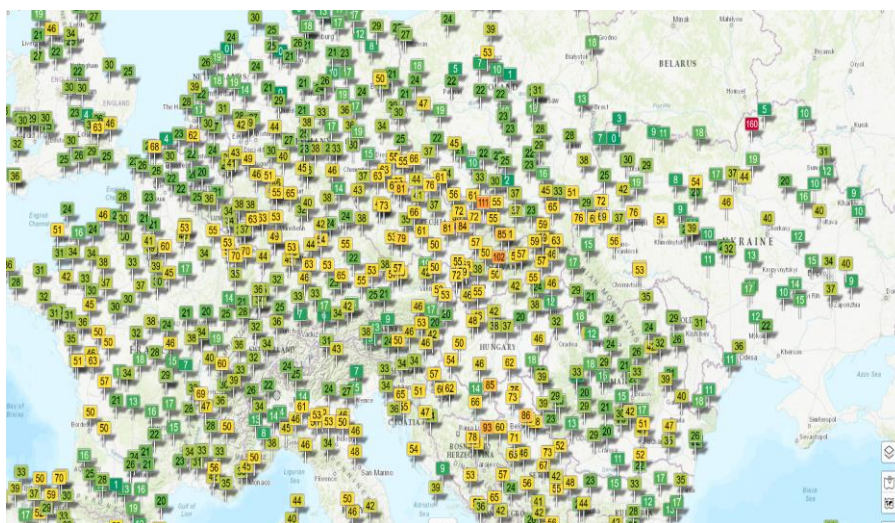


Рис.5.1. Щільність системи моніторингу якості повітря за даними веб-порталу World Air Quality Index project (waqi.info)

В Україні ж історично обмежене фінансування, фрагментація стандартів, нерівномірне географічне покриття поза обласними центрами, брак регулярної калібровки LCS і методичної інтеграції громадських даних з офіційними. Додатковим чинником стали воєнні ризики й пошкодження інфраструктури (рис.5.2). Як бачимо з рисунку 5.2, інформація щодо якості повітря в туристичних дестинаціях Прикарпаття взагалі відсутня.

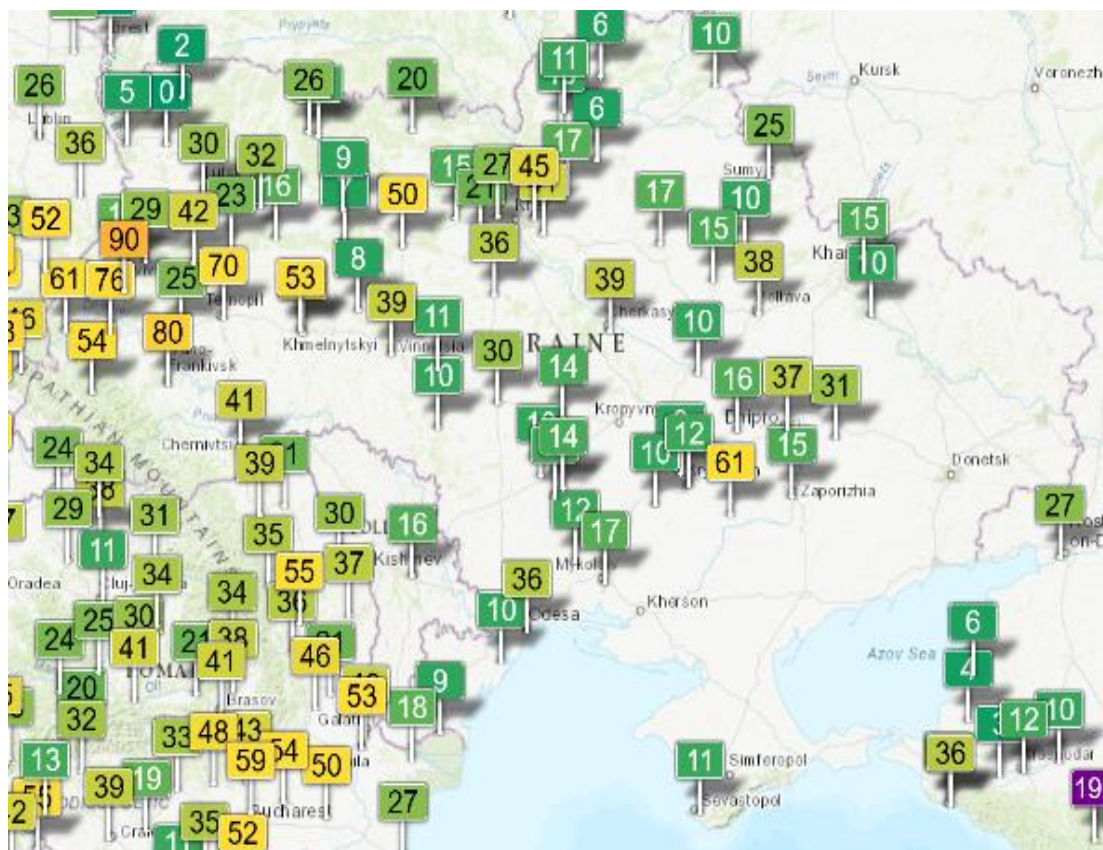


Рисунок 5.2. Щільність системи моніторингу якості повітря за даними веб-порталу World Air Quality Index project на території України (waqi.info)

Саме тому локальні ініціативи операторів туризму - встановлення низьковартісних датчиків з прив'язкою до референсних постів, відкриття даних і базова аналітика (сезонність, «гарячі» години, кореляція з завантаженістю) - мають подвійну віддачу. Вони підвищують керованість ризиків і якість сервісу на об'єкті, а водночас «прошивають» прогалини державної мережі в туристичних кластерах (Поляниця–Яремче–Ворохта тощо), де екологічні умови змінюються швидко і просторово нерівномірно. У підсумку регіон отримує дані,

достатні для прогнозування, таргетування екологічних інтервенцій і чесної комунікації з гостями, а це вже пряма інвестиція у стійкість і конкурентоспроможність туристичного продукту.

5.2. Оптимізація системи моніторингу якості атмосферного повітря у територіальних громадах

Аналіз міжнародного досвіду та нормативно-правових вимог України щодо розвитку систем екологічного моніторингу свідчить про необхідність переходу від декларативної констатації існуючих прогалів до науково обгрунтованого проєктування мережі моніторингу якості атмосферного повітря на основі об'єктивних геопросторових даних та кількісних критеріїв покриття території.

У контексті євроінтеграційних зобов'язань України, зокрема гармонізації з європейськими вимогами щодо репрезентативності мережевих структур, відкритості та оперативності екологічних даних, доцільним є впровадження двоярусної архітектури моніторингової мережі. Запропонована концепція передбачає поєднання обмеженої кількості референсних постів високої точності, що забезпечують контроль якості та калібрування вимірювань, з розгалуженою мережею низьковартісних сенсорів (LCS), розташованих у курортних долинах та туристичних коридорах з максимальною щільністю відвідувачів.

Обласна Програма державного моніторингу по зоні «Івано-Франківська» на 2021–2025 роки формує інституційні рамки імплементації вимог екодиректив ЄС щодо оцінювання якості атмосферного повітря, інформування населення та планування заходів зі зниження викидів забруднювальних речовин. У документі закріплено цілі щодо досягнення належного рівня спостережень, забезпечення зіставності даних з європейськими індикаторами та створення інформаційної основи для управлінських рішень у сфері охорони атмосферного повітря. Водночас у вихідних умовах реалізації програми зафіксовано структурну прогалину: станом на 01.01.2021 у зоні «Івано-Франківська» відсутні як стаціонарні, так і індикативні пости спостереження. Отже, «державний» сегмент

моніторингової інфраструктури не має достатньої просторової щільності та репрезентативності, що об'єктивно формує запит не на дублювання наявних міських чи громадських сенсорних мереж, а на розгортання оптимізованої системи базових пунктів спостережень, узгодженої з вимогами програми та європейських стандартів.

У межах дисертаційного дослідження запропоновано концепцію багаторівневої архітектури моніторингу якості повітря, що поєднує еталонні (референтні) пости та мережу низьковартісних сенсорів (LCS). Референтні пункти забезпечують метрологічно надійні вимірювання для офіційної звітності та калібрування LCS, тоді як сенсорна мережа виконує функцію просторового «ущільнення» даних і дозволяє моделювати дрібномасштабні варіації забруднення у туристичних агломераціях. Науковий внесок полягає не лише у запропонованій архітектурі, а передусім у методології оптимізації розміщення постів: точки спостереження визначаються за результатами геопросторової кластеризації туристичних об'єктів інтересу (POI) з урахуванням інтенсивності відвідуваності та конфігурації туристичних потоків. Критеріями слугують досягнення адекватного покриття туристичного ядра Поляниця–Яремча, мінімізація зон з недостатнім моніторинговим контролем та збереження функціональних типів пунктів, передбачених національним Порядком організації та проведення моніторингу. Така методологія дозволяє інтегрувати вимоги державної програми, європейських стандартів і просторову специфіку туристичного регіону в єдину систему прийняття рішень щодо розгортання мережі постів спостереження.

Чинний Порядок організації та проведення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря встановлює нормативну класифікацію типів пунктів спостережень, що включає промислові, міські фонові, транспортно-орієнтовані, приміські та сільські пости. Вказана класифікація є обов'язковою для застосування в межах державної системи моніторингу та визначає функціональне призначення пунктів, умови їх розміщення і вимоги до інтерпретації даних. У межах дисертаційного дослідження запропоновано

аналітичну типологію пунктів спостережень — «курортне ядро», «промисловий фон», «висотний бекграунд», яка не претендує на заміну нормативної, а розглядається як інтерпретаційна адаптація чинної класифікації з урахуванням просторово-функціональної специфіки туристичних територій Карпатського регіону. Такий підхід дозволяє зберегти повну відповідність вимогам Порядку та водночас забезпечити коректну аналітичну інтерпретацію даних у контексті рекреаційних навантажень, орографічної диференціації та сезонної концентрації туристичних потоків.

Узгодження авторської типології з державною класифікацією здійснюється за принципом функціональної відповідності типів пунктів спостережень. Так, категорія «міський фоновий» у нормативному розумінні інтерпретується як «курортне ядро», оскільки у туристичних громадах Карпат саме центральні рекреаційні зони (Яремче, Поляниця, Ворохта) виконують роль базових територій тривалого перебування населення і відвідувачів за відсутності значного промислового впливу. Тип «промисловий» напряму відповідає авторській категорії «промисловий фон», що використовується для аналізу впливів енергетичних і хімічних підприємств у промислово-урбанізованих громадах. Категорії «приміський» і «сільський» у межах дослідження об'єднуються в аналітичну групу «висотний бекграунд», яка відображає умови мінімального антропогенного навантаження, характерні для високогірних і віддалених територій, та використовується для оцінювання фонового стану атмосферного повітря.

Методологічну основу дослідження становить інтеграція геопросторових даних, що включають просторове розміщення туристичних об'єктів інтересу (POI) за даними OpenStreetMap із проксі-індикаторами місткості, показники інтенсивності туристичних ночівель (TN), адміністративні межі територіальних громад, конфігурацію транспортно-дорожньої мережі, топографічні характеристики рельєфу та, за наявності, дані про переважаючі напрямки вітрових потоків.

Алгоритмічне ядро оптимізації базується на геопросторових методах з пріоритетом практичної інтерпретованості результатів. Методологічний комплекс включає: кластеризацію k-means з ваговими коефіцієнтами за критеріями місткості та інтенсивності використання для ідентифікації «ядер туристичного попиту» та визначення кандидатних локацій розміщення сенсорів; моделі p-median та максимального покриття (Max-Cover Problem) для оптимального відбору підмножини точок за заданими обмеженнями кількості сенсорів та мінімальної взаємної відстані між ними; аналіз зон відповідальності через побудову діаграм Вороного та картографування «heat-map» покриття з урахуванням ефективного радіусу дії вимірювального обладнання.

Критерії оптимальності мережевої структури включають максимізацію частки туристичної місткості в межах радіусу покриття сенсорів, мінімізацію середньої відстані від туристичних об'єктів до найближчого вимірювального поста, а також забезпечення збалансованого представлення різних типів середовищ: курортних долин, міських і промислових фонових локацій та висотних референсних точок.

Очікуваним результатом є створення науково обґрунтованої карти оптимізованої мережі моніторингу, що включає 10-15 низьковартісних сенсорів та 2-3 референсні пости з чітко визначеними функціональними ролями кожної точки спостереження: моніторинг курортних ядер, контроль коридорів та долин «під вітром» від джерел забруднення, фіксація міського та промислового фону, висотні бекграундні вимірювання. Супровідна документація включатиме таблиці технічних обґрунтувань розміщення та методичні рекомендації щодо практичного впровадження.

Запропонований підхід забезпечує, по-перше, відповідність європейській практиці науково обґрунтованого проектування мережевих структур моніторингу, по-друге, створює надійну інформаційну основу для інтеграції екологічних даних у регіональну політику управління туристичним навантаженням у пікові сезони, комунікації з відвідувачами щодо екологічних умов та ESG-звітності суб'єктів туристичного бізнесу.

Отже, для вирішення основної задачі нашого дослідження - оптимального розміщення мережі моніторингу в туристичних регіонах розроблено методологію оптимального розташування p низьковартісних сенсорів (LCS) та q еталонних станцій моніторингу на основі просторового розподілу об'єктів туристичної інфраструктури (POI з OpenStreetMap).

Цільові критерії оптимізації при цьому наступні:

1. Забезпечення репрезентативного просторового покриття основних туристичних кластерів і зон концентрації відвідувачів
2. Мінімізація середньої відстані доступності від точок туристичного попиту до найближчих датчиків мережі моніторингу
3. Дотримання технологічних та методичних обмежень:
 - мінімальні допустимі відстані між сусідніми датчиками
 - збалансований розподіл моніторингових точок за функціональними категоріями:

- курортні осередки (ядра туристичної активності)
- міські та промислові фонові території
- високогірні еталонні ділянки

Така постановка задачі дозволяє створити науково обґрунтовану просторову мережу екологічного моніторингу, адаптовану до специфіки туристичного природокористування.

На рисунку 5.3. наведено схематично етапи проведення дослідження оптимального розміщення мережі моніторингу якості повітря.

Для оптимізації розміщення станцій моніторингу якості повітря використовується наступний набір просторових даних:

1. Множина точок туристичного попиту (I):
 - Просторові координати (x_i, y_i) для кожної точки інтересу (POI)
 - Вагові коефіцієнти w_i , що відображають місткість об'єктів (кількість ліжко-місць, максимальна місткість осіб тощо)
 - У випадку відсутності даних про місткість приймається $w_i = 1$

- Атрибут приналежності до територіальних громад або транспортних коридорів (визначається методом просторового приєднання)
- 2. Множина потенційних локацій для розміщення станцій (J):
 - Генерується автоматично відповідно до встановлених критеріїв
 - Кожна локація характеризується просторовими координатами (X_j , Y_j)

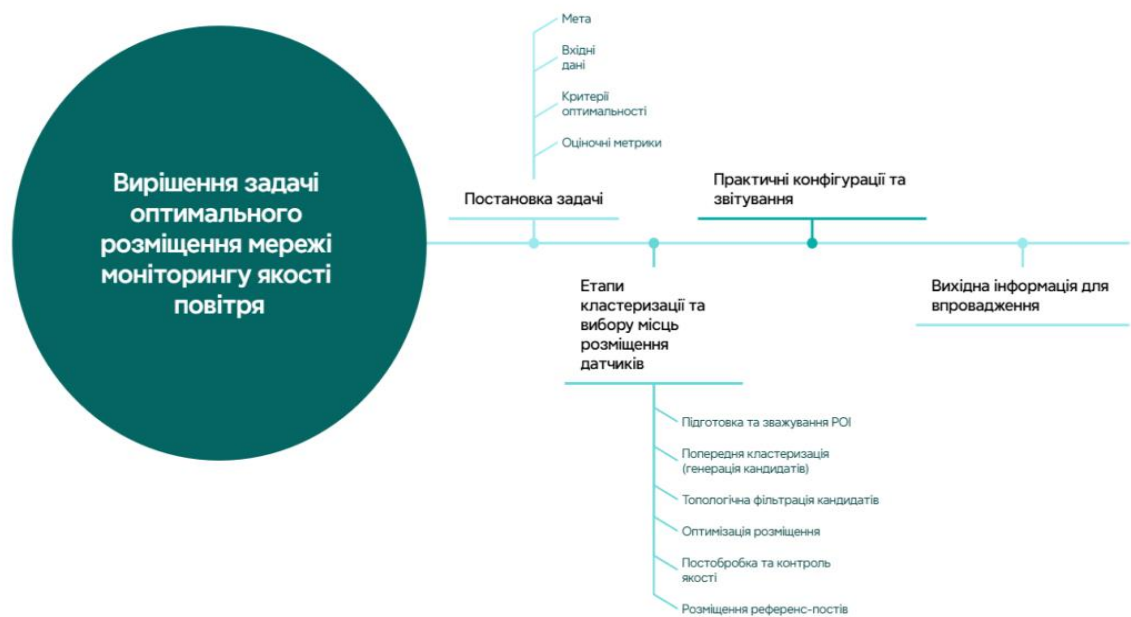


Рис.5.3. Схема проведення дослідження оптимального розміщення мережі моніторингу якості повітря

Параметри оптимізаційної моделі

Модель оперує наступними параметрами, що визначають конфігурацію мережі моніторингу:

- Радіус ефективного покриття (r): визначає зону обслуговування кожної станції (наприклад, 2 км)
- Мінімальна допустима відстань між станціями (d_{\min}): забезпечує просторову розрізненість мережі (наприклад, 2 км у долинних зонах)
- Цільова кількість локальних станцій моніторингу (p): обирається з множини альтернатив $\{10, 12, 15\}$ відповідно до бюджетних обмежень

- Кількість референсних постів (q): обирається з множини $\{2, 3\}$ для забезпечення калібрування та верифікації даних

- Квоти покриття за функціональними зонами: встановлюють мінімальні частки покриття для різних типів територій:

- Курортні ядра
- Транспортні коридори та долини з підвітряного боку
- Території з міським фоновим забрудненням
- Зони промислового впливу
- Високогірні території для визначення фонових концентрацій

Дана структура вхідних даних забезпечує комплексний підхід до оптимізації просторового розміщення мережі моніторингу з урахуванням як туристичного попиту, так і необхідності репрезентативного покриття різних функціональних зон досліджуваної території.

Для визначення оптимальної конфігурації мережі моніторингу використовуються дві еквівалентні математичні постановки:

(А) Модель максимального покриття (MCLP)

Ця модель спрямована на максимізацію зваженого покриття точок туристичного попиту. Формалізація включає:

- Матрицю близькості $a_{ij} = 1[d(i, j) \leq r]$, де $d(i, j)$ - відстань між точкою попиту i та потенційною локацією j , r - радіус покриття

- Бінарні змінні рішення:
 - $y_j \in 0,1$ - індикатор вибору j
 - $z_i \in 0,1$ - індикатор покриття точки попиту i

Цільова функція максимізує зважене покриття:

$$\max \sum_{i \in I} \omega_i z_i$$

За наступних обмежень:

- $\sum_{j \in J} y_j = p$ (вибір рівно p локацій)
- $z_i \leq \sum_{j \in J} a_{ij} y_j ; \forall i$ (точка вважається покритою, якщо знаходиться в радіусі дії хоча б одної обраної локації)

- $y_j \in \{0,1\}, ; z_i \in \{0,1\}$ (бінарність змінних)

(Б) Модель p -медіани (мінімізація відстані)

Альтернативна постановка спрямована на мінімізацію зважених відстаней між точками попиту та найближчими станціями моніторингу:

- Змінні призначення $x_{ij} \in 0,1$ - індикатор обслуговування точки попиту i локацією j ;
- Бінарні змінні вибору сайтів $y_j \in 0,1$

Цільова функція мінімізує зважену відстань:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \omega_i \cdot d(i, j) \cdot x_{ij}$$

За наступних обмежень:

- $\sum_{j \in J} x_{ij} = 1; \forall i$ (кожна точка попиту обслуговується рівно одною локацією)
- $x_{ij} \leq y_j; \forall i, j$ (точка може обслуговуватись лише обраним сайтом)
- $\sum_{j \in J} y_j = p$ (вибір рівно p локацій)
- $y_j \in 0,1, ; x_{ij} \in 0,1$ (бінарність змінних)

Для забезпечення репрезентативності та функціональної збалансованості мережі вводяться додаткові обмеження:

1. Квоти за функціональними зонами: $\sum_{j \in G_g} y_j \geq L_g$ для кожної групи g (курортні ядра, транспортні коридори, міські території тощо)
2. Обмеження мінімальної відстані: для пар сайтів (j, k) з відстанню $d(j, k) < d_{\min}$ накладається обмеження $y_j + y_k \leq 1$, що запобігає надмірній концентрації станцій.

Для комплексної оцінки якості отриманих рішень використовуються наступні метрики:

1. Коефіцієнт покриття попиту: $CR = \frac{\sum_i \omega_i \cdot 1_{[\min_j d(i, j) \leq r]}}{\sum_i \omega_i}$

Відображає частку зваженого попиту, що знаходиться в радіусі дії хоча б однієї станції моніторингу

$$2. \quad \text{Середня найкоротша відстань: } MND = \frac{\sum_i \omega_i \cdot \min_j d(i,j)}{\sum_i \omega_i}$$

Характеризує середньозважену відстань від точок попиту до найближчих станцій

3. Показники збалансованості та надійності:
 - Дисперсія та коефіцієнт Джині за рівнем покриття територіальних громад
 - Частка території з подвійним покриттям (для забезпечення резервування)
 - Ступінь виконання квот за функціональними типами станцій
 - Рівень покриття пріоритетних туристичних кластерів (Поляницька, Яремчанська ТГ тощо)

Комплексне застосування цих критеріїв дозволяє сформувати оптимальну конфігурацію мережі моніторингу, що забезпечує максимальне покриття туристичного попиту при дотриманні функціональної збалансованості та просторової репрезентативності системи.

Формування бази даних туристичних об'єктів здійснюється шляхом екстракції з OpenStreetMap (OSM) наступних категорій:

- Заклади розміщення: об'єкти з тегами `tourism=hotel`, `tourism=guest_house`, `tourism=apartment`, `tourism=hostel`, `tourism=camp_site`, `tourism=alpine_hut`, `tourism=chalet`;
- Заклади харчування (за необхідності): об'єкти з тегами `amenity=restaurant`, `amenity=cafe`;

Відбір здійснюється з використанням геопросторових запитів, що забезпечують повноту охоплення туристичної інфраструктури досліджуваної території. Туристичні об'єкти відібрані за допомогою запиту (додаток Е) візуалізовано на рисунку 5.4.

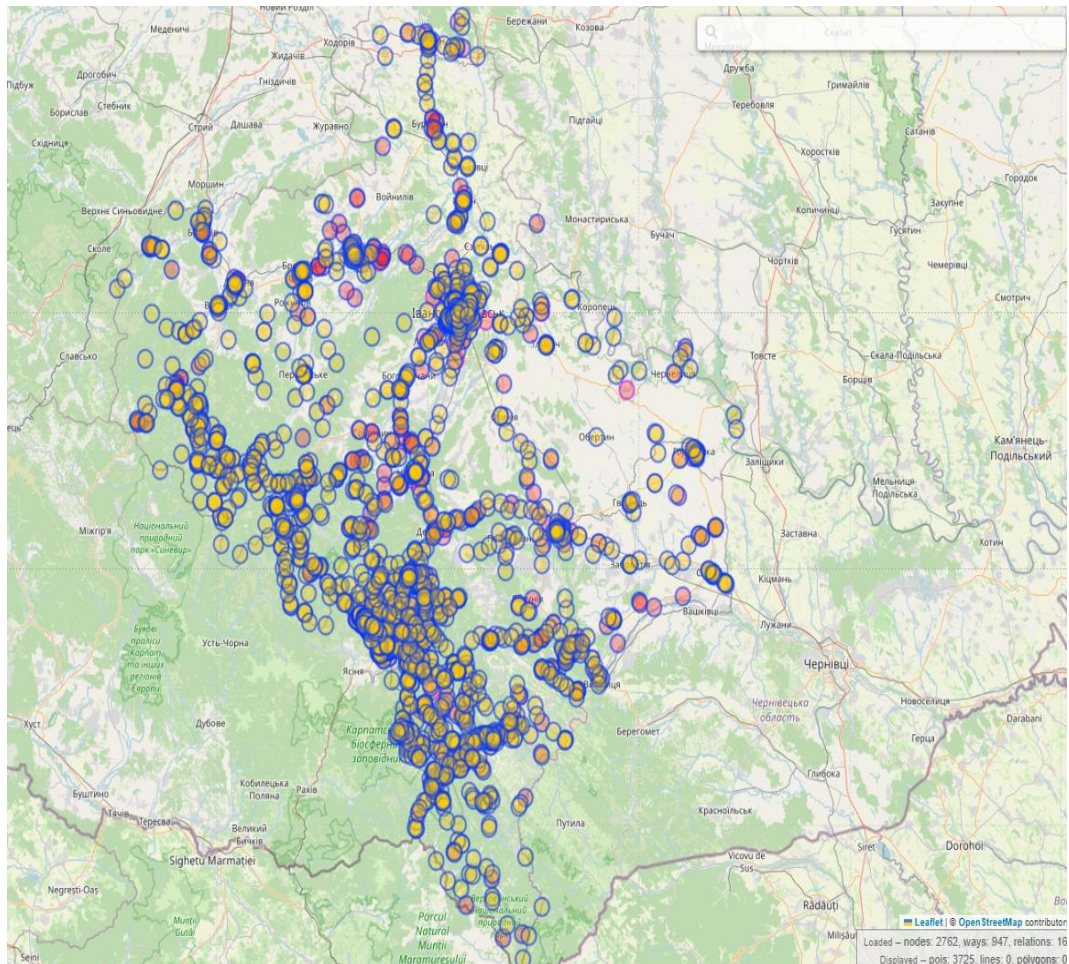


Рис.5.4. Перелік POI туристичної та суміжних галузей з OpenStreetMap

Як видно з рисунку 5.4, відібрано 3725 туристичних об'єктів на території Івано-Франківської області, як задовільняють встановленим вище умовам (категоріям об'єктів).

Процес оптимізації розміщення станцій моніторингу базується на комплексному аналізі просторового розподілу туристичної інфраструктури. Кластеризацію виконано за масивом туристичних точок інтересу (POI), екстрагованих з OpenStreetMap, включаючи об'єкти розміщення (готелі, гостьові будинки, апартаменти) та супутню інфраструктуру (кемпінги, гірські притулки). Для забезпечення репрезентативності застосовано диференційоване вагування об'єктів за їх місткістю, використовуючи атрибути `beds` та `capacity:persons`, а за їх відсутності – розрахункові значення на основі кількості номерів (`rooms`) та майданчиків для кемпінгу (`itches`). Для підвищення стійкості моделі до

екстремальних значень застосовано обмеження ваг на рівні 99-го перцентилія розподілу.

Просторова структура визначена за допомогою алгоритму зваженого k-means з ініціалізацією за методом weighted k-means++, що забезпечує врахування не лише просторової близькості, але й значущості об'єктів. Медоїди отриманих кластерів використано як кандидатні точки для розміщення станцій моніторингу. Для запобігання надмірній концентрації датчиків застосовано топологічне обмеження мінімальної взаємної відстані між сайтами $d_{\min} = 2\text{км}$, що забезпечує просторову розрізненість мережі.

Розглянуто три альтернативні конфігурації мережі з різною кількістю низьковартісних датчиків (LCS): $p \in \{10,12,15\}$.

Для кожного варіанту розроблено картографічні матеріали, що включають: (i) карти кластерів із контурами територіальних громад (рис. 5-7), (ii) діаграми Вороного, що відображають зони відповідальності" кожної станції (рис. 8-10). Детальна інформація про координати локацій та характеристики кластерів представлена у таблицях 5.2., 5.3, 5.4.

Аналіз результатів кластеризації виявляє стійкі просторові закономірності, що зберігаються за широкого діапазону параметра p : «Карпатське курортне ядро» стабільно формується як найбільший за сумарною місткістю кластер уздовж осі Поляниця—Татарів—Ворохта—Яремче, відтворюючи реальний розподіл засобів розміщення й сервісів і водночас демонструючи високу узгодженість із попередньо визначеними індикаторами туристичного попиту (TN).

Узгодженість підтверджується накладанням теплових карт TN на межі кластерів: пікові значення TN зосереджені у вузлах ядра (Буковель/Поляниця, Татарів, Ворохта, Яремче), градієнт попиту спадний у супутникових мікрокластерах (Микуличин, Яблуниця, Делятин) і мінімальний на периферії. Робастність ядра засвідчують стабільні «центри ваги» та незначні зсуви меж при варіації p , що відображає агломераційний ефект і транспортно-долину організацію простору (коридор Н-09/залізниця).

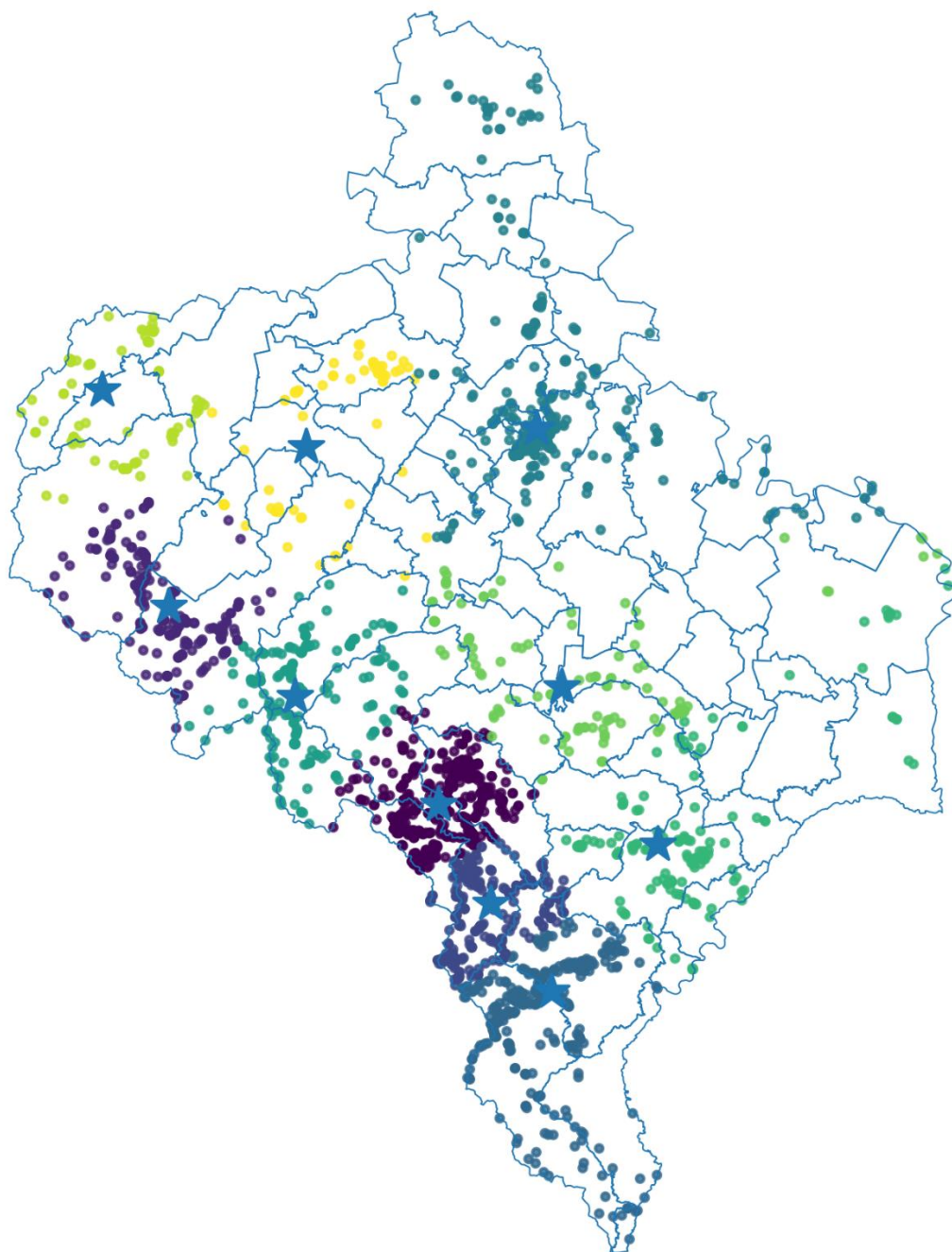
Кластери POI + межі ТГ — $p=10$ 

Рис.5.5. Кластери туристичних POI з контурами територіальних громад (конфігурація $p=10$). Зірками позначено рекомендовані пункти встановлення LCS (медоїди зважених кластерів із мінімальною взаємною відстанню 2 км). Просторовий каркас відображає домінування курортного ядра Поляниця - Яремча й «воріт» до нього, із фоновими пунктами в міських/промислових вузлах.

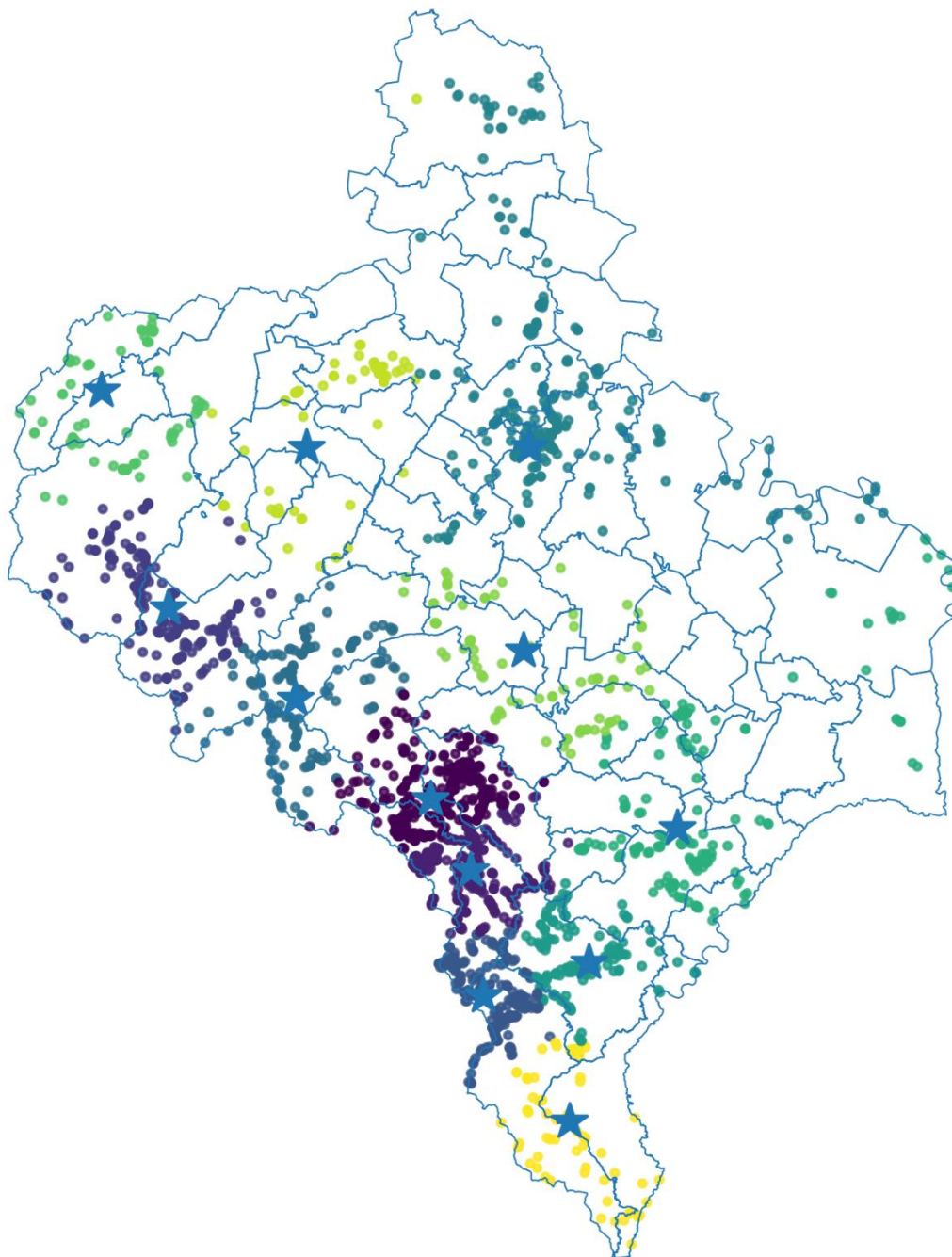
Кластери POI + межі ТГ — $p=12$ 

Рис.5.6. Кластери туристичних POI з контурами ТГ (конфігурація $p=12$).

Розширення мережі зменшує прогалини у коридорах «під вітром» від ядра та покращує контроль у південному секторі.

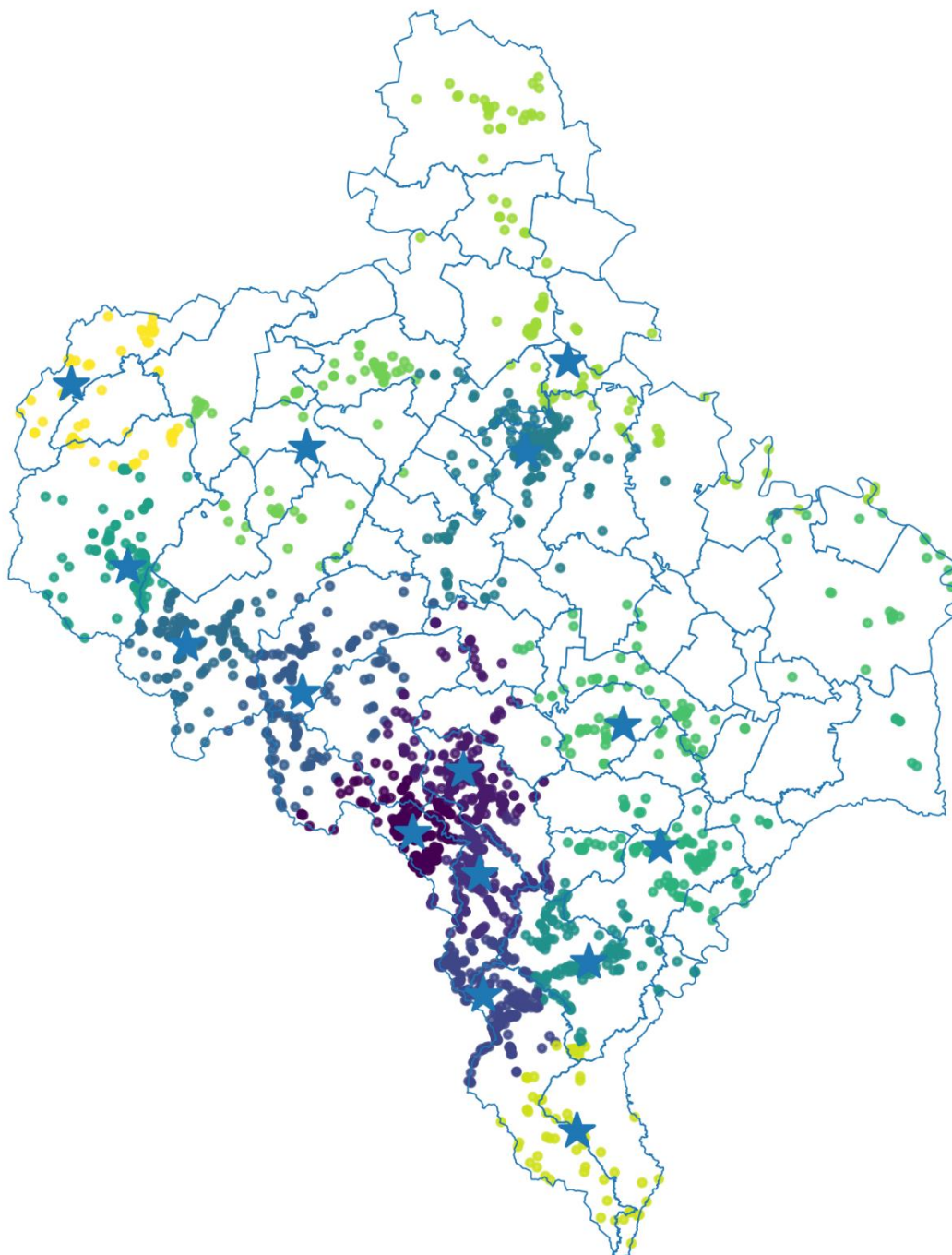
Кластери POI + межі ТГ — $p=15$ 

Рис.5.7. Кластери туристичних POI з контурами ТГ (конфігурація $p=15$)
Додаткові пункти забезпечують рівномірніше покриття периферійних територій, зберігаючи пріоритет курортної долини.

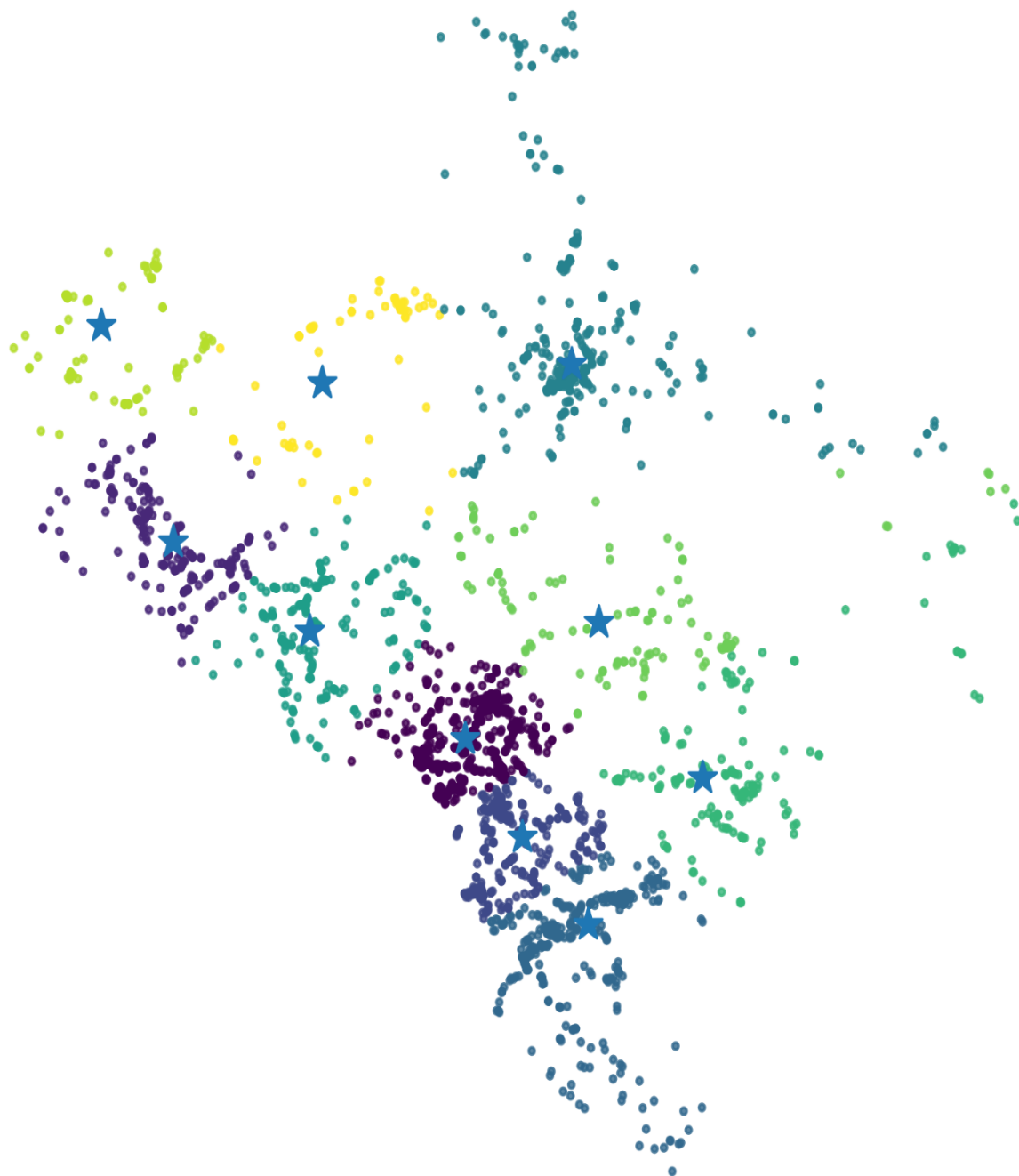
Кластери POI (Voronoi) — $p=10$ 

Рис.5.8 Зони відповідальності (Voronoi) для $p=10$. Полігони витягнуті вздовж долин; перекриття мінімальне, що відповідає пілотному каркасу.

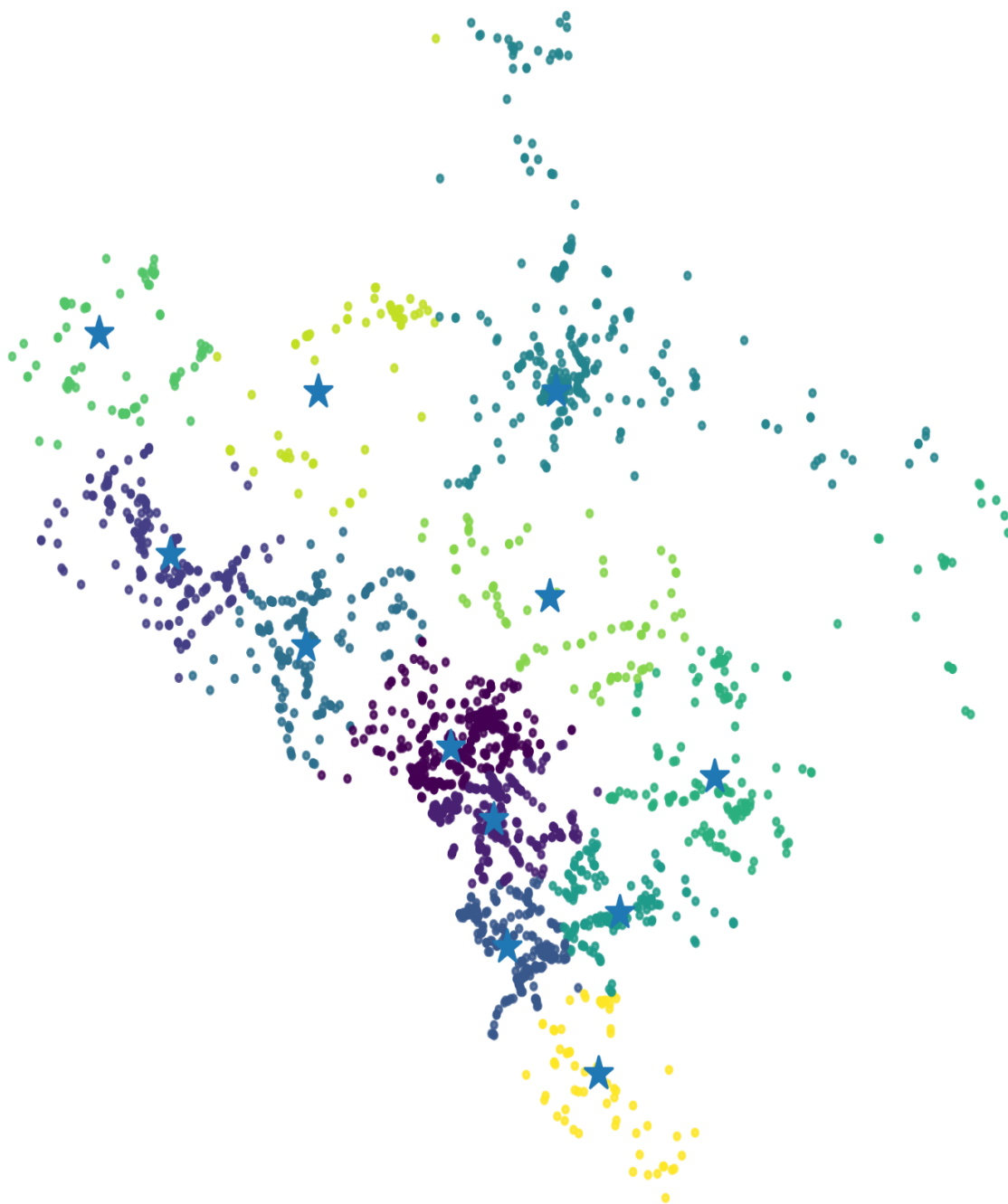
Кластери POI (Voronoi) — $p=12$ 

Рис.5.9. Зони відповідальності (Voronoi) для $p=12$.
Спостерігається дрібніше розбиття полігонів у зоні високої місткості (ядро Поляниця—Яремча), що знижує середню відстань від POI до датчика.

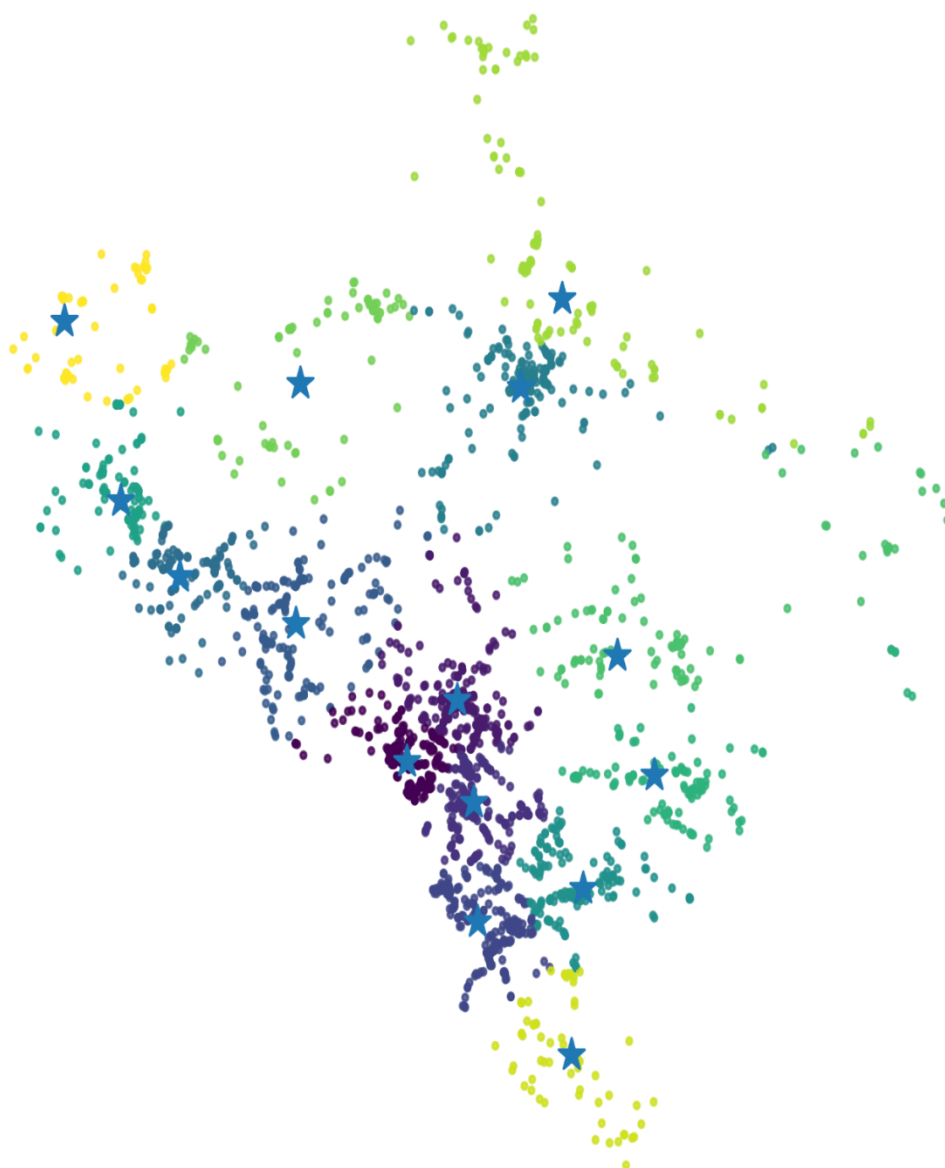
Кластери POI (Voronoi) — $p=15$ 

Рис.5.10. Зони відповідальності (Voronoi) для $p=15$. Зростає частка території з подвійним покриттям у чутливих коридорах, що підвищує надійність сигналів у несприятливих метеоумовах.

Така конгруентність просторового патерна пропозиції з TN робить класифікацію придатною для практичного зонування, таргетування інвестицій у розміщення й мобільність, а також для пріоритезації екологічних інтервенцій у зоні пікового навантаження.

У базовій конфігурації ($p = 10$) більшість локацій концентрується в межах основної туристичної долини та на ключових транспортних підходах до неї, тоді як периферійні пункти забезпечують моніторинг міського фону (Івано-Франківськ, Коломия) та промислово-транспортних вузлів, що необхідно для калібрування та контролю фонових концентрацій.

Розширення мережі до $p = 12$ додає покриття у південному й східному секторах області, що відповідає напрямкам водозбірних басейнів від курортного ядра та основним транзитним коридорам.

Максимальна конфігурація ($p = 15$) забезпечує більш рівномірну присутність у периферійних зонах гірського й передгірського поясів і посилює контроль "висотного бекграунду", що важливо для розуміння вертикальної стратифікації забруднень.

Аналіз діаграм Вороного (рис. 8-10) демонструє еволюцію "зон відповідальності" кожного сайту при збільшенні їх кількості.

При $p = 10$ полігони мають подовжену форму вздовж річкових долин, що відображає орографічний вплив на розподіл туристичної інфраструктури. При збільшенні кількості сайтів до $p = 12$ і $p = 15$ спостерігається фрагментація полігонів у зонах підвищеної туристичної місткості, що призводить до зменшення середньої відстані від точок інтересу до найближчого датчика та підвищує резервованість системи через часткове перекриття зон моніторингу.

Така геометрична конфігурація має практичну цінність для оперативного управління якістю повітря: у випадку температурних інверсій або смогових епізодів наявність сигналів з кількох близьких сайтів підвищує надійність виявлення та своєчасність сповіщення.

Конфігурація $p = 10$ (мінімальний каркас): Забезпечує покриття основного туристичного ядра Поляниця—Яремча та включає необхідні фонові реперні точки у міській та промисловій зонах. Ця конфігурація є оптимальною для

пілотного розгортання системи з обмеженим бюджетом, проте характеризується підвищеною середньою відстанню до датчиків у периферійних зонах.

Конфігурація $p = 12$ (збалансована мережа): Суттєво зменшує просторові прогалини в транспортних коридорах та долинах, розташованих "під вітром" від основного туристичного ядра, а також посилює моніторинг у південному секторі області. Представляє оптимальний компроміс між інвестиційними витратами та якістю просторового покриття.

Конфігурація $p = 15$ (розширена мережа): Додає периферійні точки контролю та значно покращує стабільність оцінок якості повітря у передгірських зонах та на транспортних підходах до курортів. Рекомендується для впровадження у випадку, коли пріоритетом є комплексний екологічний маркетинг території та формування розширеної бази даних для ESG-звітності туристичних об'єктів.

У всіх трьох варіантах конфігурації зберігається пріоритетне покриття курортного ядра (Поляницька та Яремчанська територіальні громади), що відповідає основній цільовій функції системи – забезпечити моніторинг якості повітря в зонах найвищої концентрації туристичного попиту, одночасно підтримуючи мережу еталонних точок для калібрування та визначення фонових концентрацій.

На основі цих даних для кожної станції формується технічний "паспорт", що включає мікроситуаційні вимоги щодо встановлення обладнання (доступ до електроживлення, наявність стабільного зв'язку, оптимальна висота розміщення сенсорів, вимоги до захисту від вандалізму та атмосферних впливів) (додаток Д).

Запропонована методологія та результати оптимізації забезпечують науково обґрунтовану основу для поетапного розгортання мережі моніторингу якості повітря, що відповідає просторовій структурі туристичного попиту та враховує орографічні особливості Карпатського регіону

Таблиця 5.2.

Рекомендовані пункти LCS (конфігурація p=12)

К-ть POI у кластері	Сумарна місткість (ум. од.)	Координати (lon)	Координати (lat)	Номер LCS	Роль	Центр кластера	Сектор	Примітка
618	762,000	24,482	48,403	1	курортне ядро	Поляниця	південний	Центр тяжіння кластера (618 POI; сумарна місткість \approx 762 ум. місць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Поляниця; зменшує відстань до найближчого датчика у південний секторі курортної долини.
378	452,000	24,570	48,298	2	курортне ядро	Ворохта	південно-східний	Центр тяжіння кластера (378 POI; сумарна місткість \approx 452 ум. місць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Ворохта; зменшує відстань до найближчого датчика у південно-східний секторі курортної долини.
244	425,000	23,902	48,682	3	промисловий фон	Калуш	західний	Центр тяжіння кластера (244 POI; сумарна місткість \approx 425 ум. місць). Контроль техногенного внеску ($SO_2/NO_x/PM$) у Калуш; дає референт для калібрування LCS і відсікання промислових епізодів.
385	407,000	24,700	48,917	4	міський фон	Івано-Франківськ	північно-східний	Центр тяжіння кластера (385 POI; сумарна місткість \approx 407 ум. місць). Репрезентативний міський фон (прибуття/логістика, комунікаційна видимість); відокремлення туристичних епізодів від фонових коливань у Івано-Франківськ.
256	330,000	24,598	48,113	5	курортне ядро	Ворохта	південний	Центр тяжіння кластера (256 POI; сумарна місткість \approx 330 ум. місць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Ворохта; зменшує відстань до найближчого датчика у південний секторі курортної долини.
219	318,000	24,182	48,550	6	курортне ядро	Поляниця	західний	Центр тяжіння кластера (219 POI; сумарна місткість \approx 318 ум. місць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Поляниця; зменшує відстань до найближчого датчика у західний секторі курортної долини.
162	243,000	24,831	48,162	7	висотний бекграунд	Верховина	південно-східний	Центр тяжіння кластера (162 POI; сумарна місткість \approx 243 ум. місць). Регіональний/висотний фон поблизу Верховина; верифікація переносу з долин і перевірка модельних рядів.
178	178,000	25,028	48,360	8	коридор/долина «під вітром»	Косів	східний	Центр тяжіння кластера (178 POI; сумарна місткість \approx 178 ум. місць). Контроль переносу з курортного ядра вздовж транспортно-вітрового коридору (східний сектор); раннє виявлення епізодів.
101	112,000	23,754	49,000	9	промисловий фон	Калуш	північно-західний	Центр тяжіння кластера (101 POI; сумарна місткість \approx 112 ум. місць). Контроль техногенного внеску ($SO_2/NO_x/PM$) у Калуш; дає референт для калібрування LCS і відсікання промислових епізодів.
84	84,000	24,687	48,621	10	курортне ядро	Яремче	північно-східний	Центр тяжіння кластера (84 POI; сумарна місткість \approx 84 ум. місць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Яремче; зменшує відстань до найближчого датчика у північно-східний секторі курортної долини.
70	81	24,20759	48,916028	11	промисловий фон	Калуш	північно-західний	Центр тяжіння кластера (70 POI; сумарна місткість \approx 81 ум. місць). Контроль техногенного внеску ($SO_2/NO_x/PM$) у Калуш; дає референт для калібрування LCS і відсікання промислових епізодів.
68	77,000	24,788	47,927	12	висотний бекграунд	Верховина	південно-східний	Центр тяжіння кластера (68 POI; сумарна місткість \approx 77 ум. місць). Регіональний/висотний фон поблизу Верховина; верифікація переносу з долин і перевірка модельних рядів.

Рекомендовані пункти LCS (конфігурація p=15)

К-ть POI у кластері	Сумарна місткість (ум. од.)	Координати (lon)	Координати (lat)	Номер LCS	Роль	Центр кластера	Сектор	Примітка
375	455,000	24,442	48,353	1	курортне ядро	Поляниця	південний	Центр тяжіння кластера (375 POI; сумарна місткість \approx 455 ум. місьць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Поляниця; зменшує відстань до найближчого датчика у південний секторі курортної долини.
351	427,000	24,553	48,445	2	курортне ядро	Яремче	південно-східний	Центр тяжіння кластера (351 POI; сумарна місткість \approx 427 ум. місьць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Яремче; зменшує відстань до найближчого датчика у південно-східний секторі курортної долини.
295	357,000	24,590	48,292	3	курортне ядро	Ворохта	південно-східний	Центр тяжіння кластера (295 POI; сумарна місткість \approx 357 ум. місьць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Ворохта; зменшує відстань до найближчого датчика у південно-східний секторі курортної долини.
256	330,000	24,598	48,113	4	курортне ядро	Ворохта	південний	Центр тяжіння кластера (256 POI; сумарна місткість \approx 330 ум. місьць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Ворохта; зменшує відстань до найближчого датчика у південний секторі курортної долини.
219	307,000	24,198	48,559	5	курортне ядро	Поляниця	західний	Центр тяжіння кластера (219 POI; сумарна місткість \approx 307 ум. місьць). Контроль пікових навантажень та долинних інверсій у районі Поляниця; зменшує відстань до найближчого датчика у західний секторі курортної долини.
277	299,000	24,694	48,910	6	міський фон	Івано-Франківськ	північно-східний	Центр тяжіння кластера (277 POI; сумарна місткість \approx 299 ум. місьць). Репрезентативний міський фон (прибуття/логістика, комунікаційна видимість); відокремлення туристичних епізодів від фонових коливань у Івано-Франківськ.
150	297,000	23,942	48,629	7	промисловий фон	Калуш	західний	Центр тяжіння кластера (150 POI; сумарна місткість \approx 297 ум. місьць). Контроль техногенного внеску (SO ₂ /NO _x /PM) у Калуш; дає референт для калібрування LCS і відсікання промислових епізодів.
164	245,000	24,831	48,162	8	висотний бекграунд	Верховина	південно-східний	Центр тяжіння кластера (164 POI; сумарна місткість \approx 245 ум. місьць). Регіональний/висотний фон поблизу Верховина; верифікація переносу з долин і перевірка модельних рядів.
112	157,000	23,811	48,742	9	промисловий фон	Калуш	західний	Центр тяжіння кластера (112 POI; сумарна місткість \approx 157 ум. місьць). Контроль техногенного внеску (SO ₂ /NO _x /PM) у Калуш; дає референт для калібрування LCS і відсікання промислових епізодів.
118	118,000	24,989	48,332	10	коридор/долина «під вітром»	Косів	східний	Центр тяжіння кластера (118 POI; сумарна місткість \approx 118 ум. місьць). Контроль переносу з курортного ядра вздовж транспортно-вітрового коридору (східний сектор); раннє виявлення епізодів.
115	115	24,78516 14	49,040794	11	міський фон	Івано-Франківськ	північно-східний	Центр тяжіння кластера (115 POI; сумарна місткість \approx 115 ум. місьць). Репрезентативний міський фон (прибуття/логістика, комунікаційна видимість); відокремлення туристичних епізодів від фонових коливань у Івано-Франківськ.
109	109,000	24,907	48,511	12	міський фон	Коломия	східний	Центр тяжіння кластера (109 POI; сумарна місткість \approx 109 ум. місьць). Репрезентативний міський фон (прибуття/логістика, комунікаційна видимість); відокремлення туристичних епізодів від фонових коливань у Коломия.
81	92	23,68628 07	49,0080632	13	промисловий фон	Калуш	північно-західний	Центр тяжіння кластера (81 POI; сумарна місткість \approx 92 ум. місьць). Контроль техногенного внеску (SO ₂ /NO _x /PM) у Калуш; дає референт для калібрування LCS і відсікання промислових епізодів.
79	90,000	24,208	48,916	14	промисловий фон	Калуш	північно-західний	Центр тяжіння кластера (79 POI; сумарна місткість \approx 90 ум. місьць). Контроль техногенного внеску (SO ₂ /NO _x /PM) у Калуш; дає референт для калібрування LCS і відсікання промислових епізодів.
62	71,000	24,805	47,912	15	висотний бекграунд	Верховина	південно-східний	Центр тяжіння кластера (62 POI; сумарна місткість \approx 71 ум. місьць). Регіональний/висотний фон поблизу Верховина; верифікація переносу з долин і перевірка модельних рядів.

Для забезпечення метрологічної надійності мережі моніторингу якості повітря необхідно передбачити три референсні станції високої точності, які слугуватимуть еталонними точками для калібрування низьковартісних сенсорів (LCS). Розміщення цих станцій має відповідати різним типам середовища та забезпечувати репрезентативність для основних функціональних зон регіону:

1. Urban Backgroud (Міський фон) – Івано-Франківськ

Оптимальна локація: житловий масив або територія університетського кампусу, на значній відстані від великих транспортних магістралей та промислових об'єктів.

Функціональне призначення:

- Визначення фонових концентрацій забруднювачів у міському середовищі
- Створення базової точки для калібрування мережі LCS
- Забезпечення довгострокового моніторингу тенденцій якості повітря в обласному центрі

Практичні переваги:

- Зручність для регулярного проведення співвстановлення та калібрування частини низьковартісних сенсорів
- Доступність інфраструктури (електроживлення, інтернет-зв'язок, фізична безпека обладнання)
- Можливість інтеграції з освітніми програмами у випадку розміщення на території навчального закладу

2. Valley Backgroud (Долинний фон) – Поляниця/Яремчанська улоговина

Оптимальна локація: репрезентативна точка в нижній частині долини, що характеризує типові умови експозиції курортної зони.

Функціональне призначення:

- Моніторинг фонових концентрацій у ключовій туристичній зоні
- Відстеження особливостей розподілу забруднювачів в умовах гірської орографії

- Виявлення епізодів температурних інверсій та їх впливу на якість повітря

Практичні переваги:

- Можливість сезонного співвстановлення LCS для врахування сезонної специфіки туристичного навантаження
- Репрезентативність для основної зони туристичної активності
- Забезпечення даних для оцінки впливу метеорологічних умов гірських долин на розподіл забруднювачів

3. Industrial Background (Промисловий фон) – Бурштин

Оптимальна локація: територія, розташована під розою вітрів від Бурштинської ТЕС, але на достатній відстані для вимірювання розсіяних викидів.

Функціональне призначення:

- Диференціація промислового компонента забруднення від туристичного
- Моніторинг впливу найбільшого стаціонарного джерела викидів у регіоні
- Забезпечення контрольної точки для оцінки транскордонного перенесення забруднювачів

Практичні переваги:

- Можливість чіткого відокремлення сигналу промислового походження від інших джерел
- Створення бази даних для порівняльного аналізу з туристичними зонами
- Забезпечення інформаційної основи для оцінки ефективності природоохоронних заходів на промислових об'єктах

Така конфігурація референсних станцій забезпечить комплексну калібрувальну базу для всієї мережі низьковартісних сенсорів, підвищить достовірність отримуваних даних та дозволить проводити науково обґрунтовану

інтерпретацію результатів моніторингу в контексті взаємозв'язку туристичної діяльності та якості атмосферного повітря в регіоні.

Отже, проведена зважена кластеризація туристичних точок інтересу (POI) з OpenStreetMap виявила чітку просторову доміанту курортної долини Поляниця—Яремча, де сконцентрована більшість місткості закладів розміщення, що обґрунтовує необхідність пріоритетного розміщення низьковартісних станцій моніторингу (LCS) саме в цій зоні. Серед розглянутих конфігурацій мережі моніторингу варіант з 12 станціями ($p=12$) забезпечує оптимальний баланс між інвестиційними витратами та якістю просторового покриття, суттєво зменшуючи середню відстань від туристичних об'єктів до найближчого сенсора в екологічно чутливих коридорах, розташованих "під вітром" від основних туристичних центрів. Розширення мережі до 15 станцій ($p=15$) значно покращує контроль периферійних зон та підвищує надійність системи за рахунок часткового перекриття зон відповідальності сусідніх станцій, що особливо важливо для своєчасного виявлення та реагування на епізоди забруднення повітря в пікові туристичні сезони. Включення до мережі фонових точок моніторингу в міських та промислових зонах є методологічно необхідним для калібрування даних з низьковартісних сенсорів та диференціації "туристичного" компонента забруднення від фонового техногенного навантаження, що підвищує аналітичну цінність системи. Розроблені координати оптимального розміщення станцій моніторингу та визначені зони їх відповідальності представлені у відтворюваному форматі (програмні скрипти та CSV-файли), що забезпечує прозорість методології та готовність результатів до практичної валідації при мікроситуаційному обстеженні потенційних локацій на місцевості.

Запропоновано конфігурацію мережі 3 постійнодіючих референсних станцій для забезпечення метрологічної надійності мережі моніторингу якості повітря.

Висновки до розділу 5. Узагальнення теоретичних і емпіричних напрацювань, розглянутих у розділі, засвідчує, що якість атмосферного повітря та відкритість екологічних даних перетворюються на ключовий вимір конкурентоспроможності туристичних destinations у європейському просторі. Європейські дослідження переконливо фіксують негативний вплив підвищених концентрацій $PM_{2.5}/PM_{10}$ на показники туристичної активності, поведінкові характеристики відвідувачів і структуру туристичного попиту, а також високу чутливість сімейних і «срібних» сегментів до екологічних ризиків. У країнах ЄС сформовано багаторівневу систему моніторингу якості повітря, що поєднує референтні станції різних типів (urban background, traffic, industrial) з розгалуженими мережами низьковартісних сенсорів та відкритими цифровими платформами, які забезпечують оперативний доступ до валідованих даних. Нормативні трансформації, зокрема оновлення директиви щодо якості атмосферного повітря й наближення стандартів до рекомендацій ВООЗ, зміцнюють зв'язок між екологічною безпекою, охороною здоров'я населення та стійкістю туристичних секторів. Порівняльний аналіз свідчить, що український контекст, попри формальну імплементацію *acquis communautaire* у сфері моніторингу повітря, характеризується просторовою фрагментованістю мережі спостережень, недостатньою щільністю постів у туристичних регіонах, слабкою диференціацією джерел забруднення та нерозвиненими механізмами інтеграції офіційних і громадських сенсорних даних. Для Прикарпаття зафіксовано відсутність репрезентативних постів у курортних кластерах, що не дозволяє відобразити пікові туристичні навантаження й короткочасні епізоди погіршення якості повітря, які безпосередньо впливають на суб'єктивне сприйняття destinations і повторну візитність.

Розроблена в дисертаційному дослідженні методологія формування регіональної системи моніторингу та управління екологічною безпекою туризму територіальних громад Івано-Франківської області запропонувала інструментально та просторово узгоджене рішення виявлених проблем. Сформовано концепцію двоярусної мережі, яка поєднує обмежену кількість

еталонних референсних постів (міський, долинний та промисловий фон) із системою низьковартісних сенсорів LCS, розташованих на основі зваженої кластеризації туристичних об'єктів інтересу (POI) та формальних моделей p -median і максимального покриття. Алгоритмічна постановка задачі дозволила перейти від інтуїтивного вибору локацій до оптимізаційних рішень, де критеріями виступають максимізація покриття туристичної місткості, мінімізація середньої відстані від об'єктів до найближчого датчика, дотримання квот за функціональними зонами (курортні долини, міський і промисловий фон, висотний бекграунд) та забезпечення резервування у чутливих коридорах. Зіставлення альтернативних конфігурацій ($p = 10, 12, 15$) продемонструвало стійкість домінування курортної долини Поляниця–Яремча як ядра туристичного попиту та дозволило обґрунтувати оптимальний варіант збалансованої мережі з 12 станцій для умов обмежених ресурсів і розширену конфігурацію з 15 датчиків для сценарію інтенсивного екологічного маркетингу. Запропонована система, підтримана технічними «паспортами» локацій і відтворюваними скриптами просторового аналізу, формує науково обґрунтований інфраструктурний каркас, здатний забезпечити інтеграцію екологічних індикаторів у регіональну політику управління туристичними потоками, ESG-звітність суб'єктів гостинності та прозору комунікацію з відвідувачами щодо екологічних умов перебування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні узагальнено наукові підходи та вирішено завдання екологічного оцінювання туристичного навантаження територіальних громад Івано-Франківської області. Для цього використано поєднання просторового аналізу, картографічного моделювання, гідроекологічних досліджень, інструментальних вимірювань якості атмосферного повітря та статистичної перевірки гіпотез, що дало змогу комплексно оцінити екологічні наслідки туристичної діяльності. Одержані результати дали змогу встановити закономірності формування екологічних наслідків туристичної діяльності на рівні територіальних громад, виявити найбільш чутливі компоненти довкілля та обґрунтувати інструменти моніторингу і регулювання в умовах зростання рекреаційного навантаження.

Відповідно до поставлених завдань одержано такі основні результати.

1. За результатами аналізу теоретико-методологічних підходів до оцінювання туристичного навантаження встановлено, що сучасне трактування екологічної безпеки у сфері туризму вийшло за межі вузького природоохоронного розуміння і розглядається як складова сталого розвитку територій, якості життя населення та спроможності громад управляти природно-ресурсним потенціалом. З'ясовано, що в науковому дискурсі туристичне навантаження доцільно розглядати не лише як кількісну характеристику відвідуваності, а як інтегральний прояв антропогенного впливу, який охоплює використання водних ресурсів, трансформацію ландшафтів, формування викидів і відходів, навантаження на інженерно-комунальну інфраструктуру та зміну екологічної стійкості території. Показано, що саме територіальна громада є найбільш придатною одиницею екологічного оцінювання туристичного навантаження, оскільки на цьому рівні поєднуються просторові характеристики середовища, господарська спеціалізація, туристичний попит, локальні екологічні ризики та управлінські механізми реагування.

У результаті теоретичного узагальнення обґрунтовано доцільність використання просторово орієнтованого підходу до оцінювання туристичного навантаження, що поєднує аналіз стану довкілля, територіальну локалізацію впливів і оцінку екологічної безпеки використання природно-рекреаційного потенціалу громад.

2. Дослідження просторової структури туристичної діяльності в Івано-Франківській області дозволило встановити виражену територіальну нерівномірність розміщення туристичних потоків, інфраструктури та суб'єктів господарювання туристичної сфери. Виявлено, що найбільша щільність туристичних об'єктів і найвища інтенсивність туристичного попиту характерні для Поляницької, Яремчанської та Ворохтянської громад, які формують ядро гірськорекреаційного навантаження. У межах виконання цього завдання вперше проведено картографічне моделювання впливу туристичного сектора на довкілля у розрізі територіальних громад Івано-Франківської області з нормуванням показників на площу території. Застосований підхід дав змогу перейти від абсолютних обсягів викидів, водоспоживання, скидів і розміщення відходів до порівняльної оцінки інтенсивності екологічного навантаження. Побудовані картографічні моделі забезпечили просторову діагностику екологічного стану громад, виявлення локальних зон підвищеного ризику та можуть використовуватися як аналітичний інструмент стратегічного планування на місцевому рівні.

Практичне значення цього результату полягає в тому, що розроблена система апробована на прикладі порівняльного аналізу інтенсивності водоспоживання, атмосферних викидів, скидів у водне середовище та розміщення твердих побутових відходів у туристичному секторі громад області, а отже може застосовуватися для екологічної оцінки туристичного потенціалу інших територій із подібною просторовою структурою навантаження.

3. У результаті оцінювання впливу туристичного навантаження на стан компонентів довкілля встановлено, що найбільш чутливим до туристичної активності компонентом природного середовища є водні ресурси.

Гідроекологічний блок дослідження на прикладі річки Прут у межах м. Яремче показав, що навіть за наявності природних механізмів відновлення гідрохімічної рівноваги рекреаційне використання території формує відчутний антропогенний тиск на водні екосистеми. У межах дослідження набули подальшого розвитку методичні засади гідроекологічного аналізу туристичних дестинацій шляхом розроблення моделі самоочищення річки Прут після скидів неочищених стічних вод. Побудована експоненційна модель відобразила закономірність просторового зниження мінералізації води і засвідчила зменшення цього показника приблизно на 64 % у межах перших 30 м після зони турбулентного впливу водоспаду Пробій. Отриманий результат свідчить про інтенсивну дію турбулентної аерації та дифузійного перемішування водних мас, але водночас не заперечує високої чутливості гідроекосистем до зростання обсягів стоків у періоди рекреаційного піку.

Інструментальний аналіз атмосферного повітря засвідчив, що середні концентрації PM_{2.5} і PM₁₀ у туристично активних локаціях загалом не перевищують нормативних меж, однак виявляють просторову поляризацію залежно від рівня антропогенного навантаження. Поліноміальна регресія між PM_{2.5} і PM₁₀ підтвердила наявність нелінійних зв'язків між аерозольними маркерами забруднення, що дозволяє використовувати їх як інтегральні індикатори якості повітря в туристичних центрах. Для утворення твердих побутових відходів встановлено, що внесок туристичного сектора є значно менш вираженим, ніж у випадку водоспоживання, а загальна структура навантаження більшою мірою визначається комунальними та промисловими чинниками.

4. На основі статистичного аналізу багаторічних даних перевірено взаємозв'язок між туристичною активністю та екологічними параметрами на рівні територіальних громад. Встановлено, що зростання туристичного потоку в попередньому періоді пов'язане зі збільшенням водоспоживання в наступному році. Крім того, після усунення впливу громад із домінуючим промислово-енергетичним навантаженням виявлено статистично значущий позитивний зв'язок між туристичною активністю та скидами у водні об'єкти. Для

атмосферних викидів і твердих побутових відходів статистично значущих залежностей на рівні територіальних громад не встановлено, що свідчить про домінування інших джерел екологічного впливу. Водночас аналіз зворотного напрямку взаємозв'язку не підтвердив статистично значущого впливу агрегованих екологічних показників на подальшу туристичну активність. Отриманий результат свідчить, що на рівні річних даних і територіальних громад туристичний попит формується під впливом ширшого комплексу соціально-економічних, подієвих та інфраструктурних чинників, тоді як статистично агреговані показники екологічного стану не завжди відображають безпосередній досвід перебування туристів у конкретній DESTINAЦІЇ.

На цій основі запропоновано наукові гіпотези щодо взаємозв'язку туристичного навантаження та стану компонентів довкілля територіальних громад, які передбачають: по-перше, наявність причинно-наслідкової залежності між інтенсивністю туристичних потоків і змінами показників використання природних ресурсів; по-друге, можливий зворотний вплив екологічного стану території на динаміку туристичної активності, який потребує дослідження на більш деталізованих просторових і часових масштабах. Запропоновані гіпотези мають теоретичне значення для подальшого розвитку методики екологічного оцінювання туристичного навантаження та можуть бути використані як основа наступних досліджень екологічних наслідків туристичної діяльності.

5. У межах обґрунтування просторово організованої системи екологічного моніторингу туристичних територій розроблено підхід до оптимізації регіональної мережі спостережень за станом атмосферного повітря в туристичних DESTINAЦІЯХ. Аналіз сучасного стану моніторингової інфраструктури засвідчив, що наявна мережа спостережень не забезпечує репрезентативного охоплення курортних та рекреаційно спеціалізованих громад, а отже не дає можливості фіксувати пікові навантаження, характерні для сезонного туризму. У відповідь на виявлені обмеження вперше обґрунтовано геопросторову систему оптимізації регіональної мережі моніторингу туристичних DESTINAЦІЙ на прикладі пунктів спостережень за якістю

атмосферного повітря, побудовану на основі зваженої кластеризації туристичних об'єктів і інфраструктури розміщення.

Запропонована система орієнтована на поєднання референтних постів із мережею низьковартісних сенсорів у зонах інтенсивного рекреаційного використання. Її застосування дозволяє підвищити просторову репрезентативність екологічного моніторингу, забезпечити оперативне виявлення локальних ризиків і включити екологічні індикатори до системи управління туристичними потоками. Практичне значення цього результату підтверджено впровадженням розроблених рекомендацій у діяльність Карпатського національного природного парку. Методичні підходи до екологічного оцінювання туристичного навантаження використано під час планування та вдосконалення системи моніторингу якості атмосферного повітря на території парку, а також при обґрунтуванні доцільності застосування низьковартісних сенсорів у зонах інтенсивного рекреаційного навантаження.

Практичне значення дисертації також полягає у впровадженні результатів у навчальний процес кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Розроблені методичні підходи до оцінювання антропогенного навантаження на територіальні громади, просторового аналізу впливу туристичної діяльності на водні ресурси та атмосферне повітря, а також методи обробки екологічних даних використано при викладанні дисципліни «Методологія екологічних досліджень», зокрема в межах теми «Методи обробки геоекологічної інформації». Основні результати дисертаційного дослідження апробовано та висвітлено у наукових публікаціях [214–220].

Отже, результати дисертаційного дослідження підтвердили, що туристичне навантаження в Івано-Франківській області має чітко виражений просторово диференційований характер і спричиняє неоднакові екологічні наслідки в різних типах територіальних громад. Найбільш чутливими до впливу туризму виявилися водні ресурси, тоді як атмосферні викиди та утворення відходів у більшості випадків визначаються поєднанням промислових,

комунальних і транспортних чинників. Розроблені в дисертації підходи до картографічного моделювання, гідроекологічного аналізу, статистичної перевірки гіпотез і просторової організації моніторингу створюють наукове підґрунтя для вдосконалення екологічного оцінювання туристичного навантаження та можуть бути використані для формування регіональної політики екологічної безпеки туристичних територій.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення методичних підходів до екологічного оцінювання туристичного навантаження з урахуванням більш детальних просторових і часових масштабів аналізу. Перспективним є використання сезонних і щомісячних даних туристичної активності, локалізованих показників стану довкілля та даних автоматизованого сенсорного моніторингу якості атмосферного повітря, водних ресурсів і стану рекреаційних територій. Важливим напрямом подальших досліджень є інтеграція геоінформаційних систем і методів та екологічного моделювання для прогнозування екологічних наслідків туристичної діяльності в умовах кліматичних змін та зростання рекреаційних потоків. Окрему увагу доцільно приділити розробленню індикаторів екологічної місткості туристичних територій, удосконаленню системи моніторингу екологічної безпеки туристичних дестинацій та інтеграції отриманих результатів у практику стратегічного планування розвитку територіальних громад і природоохоронних територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вишнеvsька О. М., Бобровська Н. В., Саваріна І. П. Екологічна безпека : курс лекцій. Миколаїв : МНАУ, 2015. 61 с.
2. Про охорону навколишнього природного середовища: Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. Редакція від 08.08.2025. *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.
3. Історія ідеї сталого розвитку. *Студія Перехрестя* URL: <https://surli.cc/gnksgr>
4. The Long Echo of "Silent Spring". *College and Graduate School of Arts and Sciences, University of Virginia*. URL: <https://as.virginia.edu/news/long-echo-silent-spring>.
5. U.S. Environmental Protection Agency URL: <https://www.epa.gov/>
6. Законодавство про забруднення повітря URL: <http://surl.li/omfmce>
7. Суєтнов Є. П. Декларація Конференції Організації Об'єднаних Націй з проблем оточуючого людину середовища, Стокгольмська декларація (1972). *Велика українська юридична енциклопедія.*: у 20 т Харків, 2018. Т. 14: Екологічне право. С. 188–189.
8. Монреальський протокол про речовини, що руйнують озоновий шар. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_215.
9. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text.
10. Core Publications Agenda 21. URL: <https://www.un.org/esa/dsd/agenda21/>
11. Словник-довідник з екології : навчально-методичний посібник. О. Г. Лановенко, О. О. Остапівшина. Херсон : ПП Вишемирський В. С., 2013. 226 с.
12. Лавриненко С. І. Екологічна безпека. Енциклопедія Сучасної України : електронна версія URL: https://esu.com.ua/search_articles.php?id=18670

13. Яворська В. Визначення поняття екологічної безпеки при екоциді. *Наукові праці Міжрегіональної академії управління персоналом. Юридичні науки*. 2023. Вип. 2 (65). С. 56–62.

14. Задорожній О. В., Медведєва М. О. Міжнародне право навколишнього середовища : підручник для ВНЗ. Київ. нац. ун. ім. Тараса Шевченка, ін-т міжнар. відносин. Київ : Промені, 2010. 510 с.

15. Шмандій В. М., Харламова Е. В. Теоретичні та практичні аспекти управління екологічною безпекою на основі антропоцентричного підходу. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна, № 1070. Серія «Екологія», вип. 9. 2013. С. 24–30.*

16. Карпатський регіон: актуальні проблеми та перспективи розвитку: монографія у 8 томах. НАН України. Інститут регіональних досліджень; наук. ред. В. С. Кравців. Львів, 2013. Том 1 Екологічна безпека та природно-ресурсний потенціал. відп. ред. В. С. Кравців. 2013. 336 с.

17. Качинський А. Б., Єгоров Ю. В. Екологічна безпека України: системні принципи та методи її формалізації. *Національна безпека: український вимір : щоквартальний наук. збірник*. 2009. № 4. С. 71–79.

18. Сабіров Р. Ф. Екологічна безпека як невід’ємна складова національної безпеки України. *Вісник Луганського державного університету внутрішніх справ імені Е. О. Дідоренка*. 2010. № 1. С. 240–245.

19. Дудюк В.С. Гобела В.В. теоретичні підходи до визначення поняття екологічної безпеки. *Національний лісотехнічний університет України. Науковий вісник НЛТУ України*. 2015. Вип. 25.5 URL: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_5/23.pdf

20. Копанчук В. О. Екологічна безпека як складова національної безпеки України: сучасні концепції та підходи. *Вісник Національної академії державного управління при Президентіві України. Серія: Державне управління*. 2020. № 2. С. 45–49.

21. Ліпкан В. А. Поняття системи забезпечення національної безпеки України. *Право і безпека*. 2003. № 4. Т.2 С. 57-60

22. Гулич О. І. Регулювання екологічної безпеки регіону: європейський досвід. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2014. Вип. 3. С. 145–152.
23. Сивицький В.С. Поняття екологічної безпеки: До питання теоретичного обґрунтування. *Держава та регіони* Серія: Право, 2022 р., № 4 (78) С.247-278
24. Радченко, О. О. Екологічна безпека сучасних держав в умовах глобальних викликів і загроз. *Публічне урядування*, (3 (28), С. 73-81. 2022 URL: <https://journals.maup.com.ua/index.php/public-management/article/view/1299>
25. Zwierlein C. Historicizing Environmental Security. *European Journal for Security Research*. 2018. Vol. 3. P. 1–13. URL: <https://doi.org/10.1007/s41125-017-0026-4>
26. Androniceanu A., Sabie O. M. Overview of Green Energy as a Real Strategic Option for Sustainable Development. *Energies*. 2022. Vol. 15, № 22. P. 8573. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15228573>.
27. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Statistics 2022. Abu Dhabi: IRENA, 2022. URL: <https://www.irena.org/publications/2022/Jul/Renewable-Energy-Statistics-2022>
28. International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable Energy Highlights 2022. Abu Dhabi: IRENA, 2022. URL: https://irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Renewable_energy_highlights_July_2022.pdf?la=en&hash=F3180CE10D7EEB3409165D168ED6E4F494D58AB5
29. Making tourism more sustainable a guide for policy makers. *UNEP*. URL: <https://doi.org/file:///Users/irinasmik/Downloads/UNEP-UNWTO-MTMSGuide-tourismpolicyen.pdf>.
30. Global Code of Ethics for Tourism. *UNWTO*. URL: <https://www.untourism.int/global-code-of-ethics-for-tourism>
31. Long C., Lu S., Chang J., Zhu J., Chen L. Tourism environmental carrying capacity review, hotspot, issue, and prospect. *International Journal of Environmental*

Research and Public Health. 2022. Vol. 19, No. 24. Article 16663. DOI: 10.3390/ijerph192416663.

32. Leka A., Lagarias A., Panagiotopoulou M., Stratigea A. Development of a Tourism Carrying Capacity Index (TCCI) for sustainable management of coastal areas in Mediterranean islands—Case study Naxos, Greece. *Ocean. Coast. Manag.* 2022;216:105978. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2021.105978

33. He P., He Y., Xu F. Evolutionary analysis of sustainable tourism. *Ann. Tour. Res.* 2018;69:76–89. doi: 10.1016/j.annals.2018.02.002

34. Wang Y., Zhang J., Wang C., Yu Y., Hu Q., Duan X. Assessing tourism environmental psychological carrying capacity under different environmental situations. *Asia Pac. J. Tour. Res.* 2021;26:132–146. doi: 10.1080/10941665.2020.1842773.

35. Brown M.T., Ulgiati S. Emergy measures of carrying capacity to evaluate economic investments. *Popul. Environ.* 2001;22:471–501. doi: 10.1023/A:1010756704612.

36. Yan X. Evaluation Method of Ecological Tourism Carrying Capacity of Popular Scenic Spots Based on Set Pair Analysis Method. *J. Adv. Transp.* 2022;2022:9715248. doi: 10.1155/2022/9715248

37. Mota L., Franco M., Santos R. Island tourism carrying capacity in the UNESCO Site Laurisilva of Madeira. *Isl. Stud. J.* 2021;16:255–270. doi: 10.24043/isj.143.

38. Suwarno E., Widjaya H.B. Analysis of Tourism Environment Carrying Capacity in Goa Kiskendo Forest Tourism BKPH Boja KPH Kendal. *E3S Web Conf.* 2018;73:04015. doi: 10.1051/e3sconf/20187304015

39. Chen J., Ye G., Jing C., Wu J., Ma P. Ecological footprint analysis on tourism carrying capacity at the Zhoushan Archipelago, China. *Asia Pac. J. Tour. Res.* 2017;22:1049–1062. doi: 10.1080/10941665.2017.1364276

40. Shi L., Zhao H., Li Y., Ma H., Yang S., Wang H. Evaluation of Shangri-La County's tourism resources and ecotourism carrying capacity. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 2015;22:103–109. doi: 10.1080/13504509.2014.927018

41. Moayerian N., McGehee N.G., Stephenson M.O., Jr. Community cultural development: Exploring the connections between collective art making, capacity building and sustainable community-based tourism. *Ann. Tour. Res.* 2022;93:103355. doi: 10.1016/j.annals.2022.103355

42. Cupul-Magaña A.L., Rodríguez-Troncoso A.P. Tourist carrying capacity at Islas Marietas National Park: An essential tool to protect the coral community. *Appl. Geogr.* 2017;88:15–23. doi: 10.1016/j.apgeog.2017.08.021

43. Rahmani A., Fakhraee A., Karami S., Kamari Z. A quantitative approach to estimating carrying capacity in determining the ecological capability of urban tourism areas (case study: Eram Boulevard of Hamadan city) *Asia Pac. J. Tour. Res.* 2015;20:807–821. doi: 10.1080/10941665.2014.934702

44. Koens K., Postma A., Papp B. Is overtourism overused? Understanding the impact of tourism in a city context. *Sustainability.* 2018;10:4384. doi: 10.3390/su10124384.

45. Kisiel R., Zielińska-Szczepkowska J., Taradejna D. Natural and cultural resources of Green Kurpie as drivers of tourism development. *Ekon. Sr.-Econ. Environ.* 2018;65:15

46. Limits of Acceptable Change. URL: <https://responsibletourismpartnership.org/limits-of-acceptable-change/>

47. Hof M., Lime D. W. Visitor experience and resource protection framework in the National Park System: rationale, current status, and future direction // *Proceedings – Limits of Acceptable Change and Related Planning Processes: Progress and Future Directions: from a workshop held at the University of Montana’s Lubrecht Experimental Forest* / comp. S. F. McCool, D. N. Cole. Ogden, UT : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 1997. P. 29–36. (General Technical Report INT-GTR-371).

48. Bruck J. The Recreation Opportunity Spectrum in Practice: A Classification of Visitors and Sites in the Roaring Fork Valley, Colorado, USA : thesis for the degree of Master of Science in Ecology. Logan : Utah State University, 2025. 254 p. URL: <https://digitalcommons.usu.edu/etd2023/542>

49. Зінько Ю., Мальська М., Іваник М., Благодир С. Туризм у Карпатському регіоні: загрози для довкілля та способи сталого розвитку. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2014. Вип. 45. С. 443–451.

50. Коробейникова Я. Екологічна безпека територій туристичних дестинацій: визначення, механізми та проблеми забезпечення. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2021. Т. 12, № 1. С. 124–134. DOI: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-124-134](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-124-134).

51. Smyk I., Arkhypova L. M. Environmental assessment of water resources in the tourist zones of Ivano-Frankivsk region: A case study. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26, No. 9. P. 263–277. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/209739>

52. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 6 травня 2015 року "Про Стратегію національної безпеки України". *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/287/2015/paran7#n7>.

53. Лебедев І. В. Сталий розвиток туризму : досвід Європейського Союзу і завдання для України. *Вісник соціально-економічних досліджень : зб. наук. праць; за ред.: М.І. Зверькова (голов. ред.) та ін. Одеса : Одеський національний економічний університет*. 2018. No 3 (67). С. 162–173.

54. Мелько Л. Ф. Туризм у контексті сталого розвитку. *Вчені записки Університету «КРОК»*. 2017. Випуск 48. С. 190–197

55. Заваріка Г., Зеленко О. Сталий туризм як інструмент збереження культурної спадщини та відновлення постраждалих територій. *Економіка та суспільство*. 2022. No 39. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-78>.

56. Осітнянко Д. О., Примак Т. Ю. Впровадження принципів сталого розвитку в туристичній індустрії. *Ефективна економіка*. 2020. № 1. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2020.1.152>

57. Брич В., Галиш Н. Сталий розвиток туристичної індустрії: екологічний та статистичний вимір. *Економічний аналіз*. 2020. Том 30. №4. С. 23–30.

58. Пригара О. Екологічні проблеми туризму та шляхи їх вирішення. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2014. Вип. 8. С. 404-408
59. Ніколаєв К.Д. Екологізація та розвиток сільського зеленого туризму в Україні : монографія. Київ : Видавництво НПУ іме Ніколаєв К.Д. Екологізація та розвиток сільського зеленого туризму в Україні : монографія. Київ : Видавництво НПУ імені М.П. Драгоманова, 2016. 153 с.ні М.П. Драгоманова, 2016. 153 с.
60. Кучинська І. В., Бомба М. Я. Екологічні проблеми туристичної діяльності та шляхи їх вирішення у контексті сталого розвитку. Вісник Львівського інституту економіки і туризму : збірник наукових статей / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Львівський інститут економіки і туризму ; редкол. : І. О. Бочан та ін. Львів : ЛІЕТ, 2011. № 6. 316 с.
61. Krzymowska-Kostrowicka A. *Geoekologia turystyki i wypoczynku*. Warszawa : Wydawnictwo Naukowe PWN, 1997. 238 s. : il. ISBN 83-01-12373-7.
62. Івано-Франківськ підбив підсумки розвитку туризму в області у 2023 році. *Visicom API*. URL: <https://api.visicom.ua/uk/posts/fran234>
63. Mance D., Vilke S., Debelić B. Sustainable Governance of Coastal Areas and Tourism Impact on Waste Production: *Panel Analysis of Croatian Municipalities*. Sustainability. 2020. Vol. 12. P. 7243. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187243>
64. Su Y., Lee C. C. The impact of air quality on international tourism arrivals: a global panel data analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. P. 62432–62446. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20030-6>
65. Balli E., Cengiz O., Koca Balli A. I., Akar B. G. Analyzing the nexus between tourism and CO₂ emissions: The role of renewable energy and R&D. *Frontiers in Environmental Science*. 2023. Vol. 11. 1257013. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1257013>
66. David Boto-García, Juan Francisco Albert, Nerea Gómez-Fernández, Carbon price shocks and tourism demand, *Annals of Tourism Research*, Volume 108, 2024, 103813, ISSN 0160-7383, <https://doi.org/10.1016/j.annals.2024.103813>
67. Environmental policy stringency and CO₂ emissions – evidence from cross-country sector data URL: [https://one.oecd.org/document/ECO/WKP\(2023\)26/en/pdf](https://one.oecd.org/document/ECO/WKP(2023)26/en/pdf)

68. Wang Y., Zang S., Qiang H., Wang J. Air pollution disclosing and tourism: Who are winners? *Annals of Tourism Research*. 2023. Vol. 103. 103659. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2023.103659>

69. Padrón-Fumero N., Bauluz A., Díaz-Hernández J. J., Diaz-Farina E., Hernández-Yumar A. Unlocking water saving potential in tourism destinations using Smart Water Meters. *Current Issues in Tourism*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1080/13683500.2025.2519662>

70. Gan H., Zhu D., Waqas M. How to decouple tourism growth from carbon emission? A panel data from China and tourist nations. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. e35030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35030>.

71. Yang Y., Zhang X., Fu Y. Foreign tourists' experiences under air pollution: Evidence from big data. *Tourism Management*. 2022. Vol. 88. 104423. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2021.104423>

72. Декларація про державний суверенітет України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/55-12#Text>.

73. Конституція України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254к/96-вр#Text>.

74. Про охорону навколишнього природного середовища. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>.

75. Про природно-заповідний фонд України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12#Text>.

76. Про рослинний світ. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/591-14>.

77. Про тваринний світ. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2894-14>.

78. Про охорону атмосферного повітря. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>.

79. Про питну воду та питне водопостачання. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14>.

80. Про управління відходами. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2320-20>.
81. Про екологічну експертизу. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/45/95-вр#Text>.
82. Про оцінку впливу на довкілля. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>.
83. Про стратегічну екологічну оцінку. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text>.
84. Про курорти. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2026-14#Text>.
85. Про екологічну мережу України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15>.
86. Про Червону книгу України. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3055-14>.
87. Про туризм. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/324/95-вр>.
88. Про природні монополії. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1682-14>.
89. Про благоустрій населених пунктів. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2807-15>.
90. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>.
91. Земельний кодекс України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
92. Водний кодекс України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
93. Лісовий кодекс України URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text>

94. Кодекс України про надра URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/132/94-%D0%B2%D1%80#Text>

95. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку функціонування національної системи оцінки антропогенних викидів та абсорбції парникових газів, які не регулюються Монреальським протоколом про речовини, що руйнують озоновий шар» від 21 квітня 2006 року №554 URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-2006-%D0%BF#Text>

96. Про порядок видачі дозволів на спеціальне використання природних ресурсів у межах територій та об'єктів природно-заповідного фонду і встановлення лімітів використання ресурсів загальнодержавного значення. *Офіційний вебпортал парламенту України.* URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/459-92-п#Text>.

97. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення реєстру місць видалення відходів» від 03 серпня 1998 року №1216 URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1216-98-%D0%BF#Text>

98. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку ведення державного обліку та паспортизації відходів» від 01 листопада 1999 року №2034 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2034-99-%D0%BF#Text>

99. Корнєєв Ю. В., Поняття та правове регулювання екологічної безпеки в Україні. Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Сер.: Юриспруденція. 2021 № 49 URL: <https://www.vestnik-pravo.mgu.od.ua/archive/juspradenc49/28.pdf>

100. Конвенція про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті. *Офіційний вебпортал парламенту України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_272.

101. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. *Офіційний вебпортал парламенту України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_044#Text.

102. Кіотський протокол до Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_801.

103. Паризька угода. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161.

104. Конвенція про охорону біологічного різноманіття від 1992 року. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030.

105. Базельська конвенція про контроль за транскордонним перевезенням небезпечних відходів та їх видаленням. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_022#Text.

106. Довкілля - мовчазна жертва війни: як російська армія вчиняє екологічні злочини й порушує права людини URL: https://lb.ua/blog/dmytro_lubinet/581276_dovkilliya_movchazna_zhertva_viyni_yak.html

107. Directive - 2001/42 - EN - EUR-Lex. *EUR-Lex – Access to European Union law – choose your language*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2001/42/oj/eng>.

108. Директива Європейського Парламенту і Ради 2011/92/ЄС від 13 грудня 2011 року про оцінювання впливу деяких публічних і приватних проєктів на довкілля. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_022-11#Text.

109. Natura 2000 Viewer. URL: <https://natura2000.eea.europa.eu/>.

110. Директива Європейського Парламенту і Ради 2009/147/ЄС від 30 листопада 2009 року про збереження диких птахів. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_001-09#Text.

111. Директива Ради 92/43/ЄЕС від 21 травня 1992 року про охорону природних оселищ та дикої фауни і флори. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_004-92#Text.

112. Директива Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної

політики. *Офіційний вебпортал парламенту України.*

URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962.

113. Directive - 2006/7 - EN - EUR-Lex. *EUR-Lex – Access to European Union law – choose your language.* URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/7/oj/eng>.

114. Директива (ЄС) 2020/2184 про якість води, призначеної для споживання людиною. *Компас – Основні акти ЄС у сфері довкілля та зміни клімату.* URL: <https://compass27.info/dyrektyva-yes-2020-2184-pro-yakist-vody-pryznachenoyi-dlya-spozhyvannya-lyudynoyu/>.

115. Directive - 2008/50 - EN - EUR-Lex. *EUR-Lex – Access to European Union law – choose your language.* URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj/eng>.

116. Directive - 2002/49 - EN - EUR-Lex. *EUR-Lex – Access to European Union law – choose your language.* URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/49/oj>.

117. Директива Європейського Парламенту і Ради 2008/98/ЄС від 19 листопада 2008 року про відходи та про скасування деяких директив. *Офіційний вебпортал парламенту України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_02_9-08#Text.

118. Директива Ради 1999/31/ЄС від 26 квітня 1999 року про захоронення відходів. *Офіційний вебпортал парламенту України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_925.

119. Директива Європейського Парламенту і Ради 94/62/ЄС від 20 грудня 1994 року про пакування та відходи пакування. *Офіційний вебпортал парламенту України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_b05#Text.

120. Directive - 2019/904 - EN - SUP Directive - EUR-Lex. *EUR-Lex – Access to European Union law – choose your language.* URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/904/oj/eng>.

121. Fit for 55. URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>.

122. Директиви ЄС з відновлюваної енергетики (RED II та RED III). Основні положення. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/12/4.-Pastuh-A.-V.-Dyrektyvy-YES-z-vidnovlyuvanoyi-energetyky-RED-II-ta-RED-III-osnovni-polozhennya.pdf>.

123. EMAS (Схема екологічного менеджменту та аудиту) - Quality Austria Polska. *Якість Austria Polska*. URL: <https://www.qualityaustria.com.pl/ua/produkty/navkolyshne-seredovyshe-ta-energiya/emas-eco-management-and-audit-scheme/>.

124. Тимошенко Т.О. Матеріали методологічного міждисциплінарного Інтернет-семінару "Людина, яка подорожує: постнекласична парадигма наукових досліджень туризму" (м.Полтава, 17 квітня 2018 р.). Полтава: ПУЕТ, 2018. 156 с. С.61-66

125. Transition pathway for tourism. *Publications Office of the EU*. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/678c08ab-bc06-11ee-b164-01aa75ed71a1>.

126. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. *World Health Organization*. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

127. Landrigan P. J. et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*. 2018. Vol. 391, no. 10119, pp. 462–512.

128. Air quality in Europe – 2020 report URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2020-report>

129. Tobías A. et al. Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 726, 138540. ISSN 0048-9697. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138540>

130. Air quality in Europe 2021. *European Environment Agency's home page*. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/air-quality-in-europe-2021>.

131. Arbulú, I., Razumova, M., Rey-Maqueira, J., & Sastre, F. (2021). Can domestic tourism relieve the COVID-19 tourist industry crisis? The case of Spain. *Journal of Destination Marketing & Management*, 20, 100568. <https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2021.100568>

132. Директива (ЄС) 2024/2881 Європейського Парламенту та Ради від 23 жовтня 2024 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для

Європи (перероблена). URL: <https://lexcovery.com/2024/11/директива-єс-2024-2881-європейського-парлам/>.

133. Wang, Y., Zang, S., Qiang, H., Wang, J. Air pollution disclosing and tourism: Who are winners? *Annals of Tourism Research*. 2023. Vol. 103. Article 103659. ISSN 0160-7383. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.annals.2023.103659>

134. Yang, Y., Zhang, X., Fu, Y. Foreign tourists' experiences under air pollution: Evidence from big data. *Tourism Management*. 2022. Vol. 88. Article 104423. – ISSN 0261-5177. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2021.104423>

135. Eusébio, C., Carneiro, M. J., Madaleno, M., Robaina, M., Rodrigues, V., Russo, M., Relvas, H., Gama, C., Lopes, M., Seixas, V., Borrego, C., Monteiro, A. The impact of air quality on tourism: a systematic literature review. *Journal of Tourism Futures*. 2021. Vol. 7, No. 1. P. 111–130. DOI: <https://doi.org/10.1108/JTF-06-2019-0049>

136. Churchill, S. A., Pan, L., Paramati, S. R. Air Pollution and Tourism: Evidence from G20 Countries. *Journal of Travel Research*. 2022. Vol. 61, No. 2. P. 223–234. – DOI: <https://doi.org/10.1177/0047287520977724>.

137. Robaina, M., Madaleno, M., Silva, S., Eusébio, C., Carneiro, M. J., Gama, C., Oliveira, K., Russo, M. A., Monteiro, A. The relationship between tourism and air quality in five European countries. *Economic Analysis and Policy*. 2020. Vol. 67. P. 261–272. ISSN 0313-5926. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.07.012>

138. Tan, Y., Yang, L., Liu, Y., Hu, S., Xu, K., Liu, J. How does air quality affect tourist travel volume and destination preference? An analysis based on mobile tracking data. *Current Issues in Tourism*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/13683500.2022.2091430>

139. Wang, S., Song, R., Xu, Z., et al. The costs, health and economic impact of air pollution control strategies: a systematic review. *Global Health Research and Policy*. 2024. Vol. 9. Article 30. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41256-024-00373-y>

140. Dechezleprêtre, A., Rivers, N., Stadler, B. The economic cost of air pollution: Evidence from Europe. *OECD Economics Department Working Papers*. 2019. No. 1584. – URL: [https://one.oecd.org/document/ECO/WKP\(2019\)54/En/pdf](https://one.oecd.org/document/ECO/WKP(2019)54/En/pdf)

141. Bacos, I. B., Veres, C., Curta, P. A., Gabor, M. R., Oltean, F. D. Impacts of Air Pollution on Community Well-Being in the Tourism Sector: A Comprehensive Literature Review. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 23. Article 10752. DOI: <https://doi.org/10.3390/su162310752>

142. Neis, P., Warch, D., Hoppe, M. Testing and Evaluation of Low-Cost Sensors for Developing Open Smart Campus Systems Based on IoT. *Sensors*. 2023. Vol. 23, No. 20. Article 8652. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23208652>

143. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text.

144. Деякі питання здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/827-2019-п#Text>.

145. OpenAQ. URL: <https://openaq.org/>

146. World's Air Pollution: Real-time Air Quality Index. *waqi.info*. URL: <https://waqi.info/>.

147. Air Quality e-Reporting (AQ e-Reporting). *European Environment Agency's home page*. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/datahub/datahubitem-view/3b390c9c-f321-490a-b25a-ae93b2ed80c1>.

148. Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS) URL: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/node/48693_fi?utm_source=chatgpt.com.

149. AirNow.gov. URL: <https://www.airnow.gov/>.

150. AQS API. *U.S. EPA Web Server*. URL: https://aqsweb/documents/data_api.html.

151. УкрГМЦ - Погода в Україні, гідрологічна та радіаційна ситуація. URL: <https://www.meteo.gov.ua/>.

152. Єдина в Україні екологічна система - SaveEcoBot. URL: <https://www.saveecobot.com/>.

153. Sensor.Community. URL: <https://sensor.community/ua/>.
154. openSenseMap. URL: <https://opensensemap.org/explore/5ea4ac194caf9e001c455f79>.
155. PurpleAir - SaveEcoBot. *Єдина в Україні екологічна система - SaveEcoBot*. URL: <https://www.saveecobot.com/platform/purpleair>.
156. Air Quality API. *om*. URL: <https://open-meteo.com/en/docs/air-quality-api>.
157. Туризм. *Івано-Франківська обласна державна адміністрація*. URL: <https://www.if.gov.ua/turizm>.
158. ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначення рН (ISO 10523:1994, MOD). URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=52791
159. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage?id_doc=53159.
160. ДСТУ 4287:2004 Якість ґрунту. Відбирання проб. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54569.
161. Mundlak Y. On the Pooling of Time Series and Cross Section Data. *Econometrica*. 1978. 46(1). С. 69–85.
162. Hausman J. A. Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*. 1978. 46(6). С. 1251–1271.
163. Hsiao C. *Analysis of Panel Data*. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 366 с
164. Baltagi B. H. *Econometric Analysis of Panel Data*. 5th ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2013. 400 с.
165. Wooldridge J. M. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. 2nd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2010. 1064 с.
166. Nickell S. Biases in Dynamic Models with Fixed Effects. *Econometrica*. 1981. 49(6). С. 1417–1426.
167. Arellano M. Computing Robust Standard Errors for Within-Groups Estimators. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*. 1987. 49(4). С. 431–434.

168. Driscoll J. C., Kraay A. C. Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *Review of Economics and Statistics*. 1998. 80(4). С. 549–560.

169. Conley T. G. GMM Estimation with Cross Sectional Dependence. *Journal of Econometrics*. 1999. 92(1). С. 1–45.

170. UNWTO. *Tourism Satellite Account: Recommended Methodological Framework 2008*. Luxembourg, Madrid, New York, Paris: Eurostat, OECD, UN, WTO, 2010.

171. United Nations Statistics Division. *International Recommendations for Tourism Statistics 2008*. United Nations, 2010.

172. *Tourism Satellite Account: Recommended Methodological Framework 2008*. URL: https://unstats.un.org/unsd/publication/seriesf/seriesf_80rev1e.pdf.

173. Класифікація видів економічної діяльності. Classification of types of economic activity. DK 009:2010. National Classifier of Ukraine. Kyiv, 2020. URL: https://stat.gov.ua/sites/default/files/202308/Класифікація%20видів%20економічної%20діяльності_0.pdf

174. Кулиняк І. Класифікація видів туризму відповідно до галузей економіки (видів економічної діяльності). *Development Service Industry Management*. 2024. № 8(33). С. 207–213. DOI: [https://doi.org/10.31891/dsim-2024-8\(33\)](https://doi.org/10.31891/dsim-2024-8(33))

175. Забалдіна Ю.Б., Роскладка Н., Передерко В. Визначення частки туризму в регіональній економіці з використанням методики допоміжного (сателітного) рахунку туризму на прикладі Івано-франківської області. *Інфраструктура ринку*. Одеса, 2021, №60 DOI: <http://dx.doi.org/10.32843/infrastruct60-39>

176. YouControl URL: <https://youcontrol.com.ua/>

177. Pankiv N. E. Protected areas as a base for the development of ecological tourism in Lviv region on the example of Skolevsky Beskydy national nature park. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2019. Vol. 29, No. 5. P. 88–92. doi:10.15421/40290517.

178. Zinko Yu., Malska M., Ivanyk M., Blahodyr S. Tourism in the Carpathian region: threats to the environment and ways of sustainable development. Bulletin of Lviv University. Geographical series. 2014. No. 45. P. 443–451.

179. Протокол про сталий розвиток сільського господарства та сільської місцевості до Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/001_001-17#Text.

180. Smyk I, Arkhypova L., Analysis of Electricity Use in the Tourism Sector of Ivano-Frankivsk Region, *Carpathian Journal of Electrical Engineering*, vol. 16, no. 1, pp. 174-184, 2022

181. Вплив електростанцій на довкілля URL: <https://msd.in.ua/vpliv-elektrostantsij-na-dovkilliya/>

182. Сонячні батареї: принцип роботи URL: <https://sunsayenergy.com/technology/sonyachni-batareyi-princip-roboti>

183. Statystyka pohody. Klimatychni dani za rokamy ta misyatsyamy URL: <https://meteopost.com/weather/climate>

184. Струк Т.В., Яремко О.Є., Корчемлюк М.В., Архипова Л.М. Тенденції глобального потепління на Прикарпатті. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково технічний журнал/засн.ІФНТУНГ. №1(15)-Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. С. 212-220

185. Лагойда М.М., Яремко О.Є., Архипова Л.М. Тенденції часового розподілу кліматичних показників на території Івано-Франківської області. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-технічний журнал/засн.ІФНТУНГ. №1(19)- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. - С. 34-42 DOI: 10.31471/2415-3184-2019-1(19)-34-42

186. Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Prykhodko M and Pobigun O 2020 Prospects of environmentally safe use of renewable energy sources in the sustainable tourism development of the Carpathian region of Ukraine, E3S Web Conf. 166 04005

187. Arkhypova, L.M., Mandryk, O.M., Moskalchuk, N.M., Prykhodko, M.M., Radlovska K.O. Renewable energy resources in the system of sustainable development of Carpathian region of Ukraine *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, 1781(1), 012010

188. Sunny Portal URL:<https://www.sunnyportal.com/Templates/Start.aspx?ReturnUrl=%2fTemplates%2fNoticePage.aspx>

189. Mandryk O, Moskalchuk N, Arkhypova L, Pryhodko M and Pobigun O 2020 Research quantitative indicators of the potential of solar energy in the Carpathian region of Ukraine, *IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng.* 749 012033

190. Про затвердження Порядку визначення величин фонових концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0700-01#Text>.

191. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. *World Health Organization (WHO)*. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>.

192. Rodríguez-Alcántara J.S., Cruz-Pérez N., Rodríguez-Martín J., Santamarta J.C.S. Effect of tourist activity on wastewater quality in selected wastewater treatment plants in the Balearic Islands (Spain). *Environmental Science and Pollution Research*. 2024. Vol. 34. P. 15172–15185. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32173-9>

193. Pásková M., Štekerová K., Zanker M., Temitope Lasisi T., Zelenka J. Water pollution generated by tourism: Review of system dynamics models. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. Article e23824. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23824>

194. Adamenko S.Y., Arkhipova L.M., Adamenko Y.O., Moskaliuk N.M., Hlibovytska N.I., Chupa V.M. Regularities of changes in PM₁₀ fractions in the atmospheric air of Ivano-Frankivsk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2024. Vol. 1415, Iss. 1. Article 012002. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1415/1/012002>

195. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://www.davr.gov.ua/>.

196. Бойчук, Б. Я., Кузик, А. Д., & Сиса, Л. В. (2021). Оцінювання антропогенного впливу на річку Прут в околицях міста Яремче за показниками рівня забруднення донних відкладень. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, (23), 7–15.

<https://doi.org/10.32447/20784643.23.2021.01>

197. Кондратюк А. В. Моделювання і прогнозування стану забруднення поверхневих вод річки Стир. *Сучасні проблеми архітектури та містобудування*. 2021. Вип. 61. С. 395–409. DOI: <https://doi.org/10.32347/2077-3455.2021.61.395-409>.

198. Царик П., Вітенко І., Царик В. Річково-басейнові системи малих річок Західного Поділля в умовах антропогенних навантажень: порівняльний аналіз. *Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Географія*. 2022. Т. 53, № 2. С. 129–137. DOI: <https://doi.org/10.25128/2519-4577.22.2.17>

199. Bosak P. V., Korol K. A., Lutsyk A. H. Ecological characteristics of rivers in Slavske, Lviv region. *Visnyk of Lviv State University of Life Safety*. 2019. Vol. 20. P. 80–84. DOI: <https://doi.org/10.32447/20784643.20.2019.11>

200. Liao J., Chen J., Ru X., Chen J., Wu H., Wei C. Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: Distribution, enrichment and source apportionment. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. Vol. 176. P. 9–19. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.013>

201. Про добровільне об'єднання територіальних громад. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/157-19#Text>.

202. Скільки районів в Україні: повний огляд адміністративного поділу на 2025 рік. *Engage*. URL: <https://surl.lu/ygpntd>.

203. Zayats D. Decentralisation reform in Ukraine: Achievements and implementation prospects amidst war conditions. *Democratic Governance*. 2024. Vol. 17, no. 2. P. 5–17. DOI: 10.56318/dg/2.2024.05.

204. Zaiats T., Romaniuk S., Kraievska H., Diakonenko O., Sova O. Priorytetni napriamy formuvannia spromozhnykh terytorialnykh hromad v Ukraini. *Agricultural and Resource Economics*. 2024. Vol. 10, No. 1. P. 135–164. DOI: 10.51599/are.2024.10.01.06.

205. Hernández-Martín R., Padrón-Fumero N., Padrón-Ávila H. The Local Turn in Tourism Statistics Within the Statistical Framework for Measuring the Sustainability of Tourism 2024. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 4. Article 1430. DOI: 10.3390/su17041430

206. OECD. Measuring and Monitoring the Sustainability of Tourism at Regional Level in Spain: Indicator Framework and Compilation Guide. Paris : OECD Publishing, 2024. DOI: 10.1787/7f116e7f-en.

207. Turčinović M., Vujko A., Stanišić N. Community-Led Sustainable Tourism in Rural Areas: Enhancing Wine Tourism Destination Competitiveness and Local Empowerment. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 7. Article 2878. DOI: 10.3390/su17072878.

208. Rogowski M., Zawilińska B., Hibner J. Managing tourism pressure: Exploring tourist traffic patterns and seasonality in mountain national parks to alleviate overtourism effects. *Journal of Environmental Management*. 2025. Vol. 373. Article 123430. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.123430.

209. Yermachenko V., Melnychenko S., Sidak M., Dupliak T., Lositska T. Sustainable tourism in the post-war reconstruction of territorial communities in Ukraine. *Access to Science, Business, Innovation in Digital Economy*. 2024. Vol. 5, No. 1. P. 34–57. DOI: 10.46656/access.2024.5.1(3).

210. Тимошенко Т. О., Шевчук О. А., Шевчук О. В. Розвиток туризму в громадах і регіонах України в умовах повоєнного відновлення. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 63. DOI: 10.32782/2524-0072/2024-63-124.

210. Бугіль С., Ступень Р. Роль та пріоритети сільського зеленого туризму в соціально-економічному розвитку сільських територій. *Аграрна економіка*. 2022. Т. 15, № 1–2. С. 70–82. DOI: 10.31734/agrarecon2022.01-02.070.

211. Паньків Н. Є. Соціально-екологічний підхід до розроблення стратегії сталого розвитку туризму територіальних громад. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30, № 3. С. 71–76. DOI: 10.36930/40300313.

212. Зеленко О. О., Барабаш Т. О., Жуган Н. М. Екологічна відповідальність місцевих громад як драйверів розвитку зеленого туризму. *Причорноморські економічні студії*. 2025. Вип. 96. С. 335–340. DOI: 10.32782/bses.96-52

213. Дзвінчук Д. І., Ігнатюк Н. О. Особливості розвитку гірських територіальних громад України. Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: *Публічне управління та адміністрування*. 2024. Т. 35 (74). № 1. С. 125–130. DOI: 10.32782/TNU-2663-6468/2024.2/21.

214. Smyk I., Arkhypova L. M. Environmental assessment of water resources in the tourist zones of Ivano-Frankivsk region: A case study. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26, No. 9. P. 263–277. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/209739>

215. Smyk I., Arkhypova L. M. Spatial modeling of tourism-related environmental load on communities using the example of Ivano-Frankivsk region of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27, No. 2. P. 357–373. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/217605>

216. Smyk I., Arkhypova L. Analysis of Electricity Use in the Tourism Sector of Ivano-Frankivsk Region. *Carpathian Journal of Electrical Engineering*. 2022. Vol. 16, No. 1. P. 174–184

217. Смик І. Є., Архипова Л. М. Аналіз впливу метеорологічних умов на ефективність роботи сонячних панелей в Івано-Франківській області. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2023. Т. 14, № 1(27). С. 99–107.

218. Smyk I. Assessment of the environmental state of tourist resources in the Ivano-Frankivsk Region. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2023. Vol. 14, No. 2. P. 74–85.

219. Smyk I., Arkhyrova L. Research on air pollution by fine particles in tourist locations in the Ivano-Frankivsk region. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 21, No. 3. P. 62–75

220. Смик І., Архипова Л. Formation of a regional system for environmental monitoring of atmospheric air in tourist destinations. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2026. Т. 22, № 1. С. 66–86.

ДОДАТКИ

Список публікацій

1. Smyk I., Arkhypova L. M. Environmental assessment of water resources in the tourist zones of Ivano-Frankivsk region: A case study. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2025. Vol. 26, No. 9. P. 263–277. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/209739>; URL: <https://www.ecoet.com/pdf-209739-128247?filename=Environmental%20assessment.pdf>. Індексунання: Scopus, Q3.
2. Smyk I., Arkhypova L. M. Spatial modeling of tourism-related environmental load on communities using the example of Ivano-Frankivsk region of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2026. Vol. 27, No. 2. P. 357–373. DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/217605> (фахове іноземне видання, Scopus, Q3).
3. Смик І. Є., Архипова Л. М. Імперативи сталого розвитку туризму на Прикарпатті. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2016. № 2(14). С. 190–195. URL: <http://elar.nung.edu.ua/handle/123456789/4955>. Індексунання: наукове фахове видання України, категорія Б.
4. Smyk I., Arkhypova L. Analysis of Electricity Use in the Tourism Sector of Ivano-Frankivsk Region. *Carpathian Journal of Electrical Engineering*. 2022. Vol. 16, No. 1. P. 174–184. URL: <https://cee.cunbm.utcluj.ro/wp-content/uploads/IIS225.pdf>. Індексунання: фахове іноземне видання.
5. Смик І. Є., Архипова Л. М. Аналіз впливу метеорологічних умов на ефективність роботи сонячних панелей в Івано-Франківській області. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2023. Т. 14, № 1(27). С. 99–107. DOI: [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2023-1\(27\)-99-107](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2023-1(27)-99-107); URL: <https://esbur.com.ua/uk/journals/1-27-2023/analiz-vplivu-meteorologichnikh-umov-na-efektivnist-roboti-sonyachnikh-paneley-v-ivano-frankivskiy-oblasti>. Індексунання: наукове фахове видання України, Scopus.
6. Smyk I. Assessment of the environmental state of tourist resources in the Ivano-Frankivsk Region. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2023. Vol. 14, No. 2. P. 74–85. DOI: 10.69628/esbur/2.2023.74; URL: <https://esbur.com.ua/uk/journals/t-14-2-2023/otsinka-ekologichnogo-stanu-turistichnikh-resursiv-ivano-frankivskoyi-oblasti>. Індексунання: наукове фахове видання України, Scopus.
7. Smyk I., Arkhypova L. Research on air pollution by fine particles in tourist locations in the Ivano-Frankivsk region. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 21, No. 3. P. 62–75. DOI: 10.31548/dopovidi/3.2025.62; URL: <https://scireports.com.ua/uk/journals/tom-21-3-2025/doslidzhennya-zabrudnennya-povitrya-dribnodispersnimi-chastkami-u-turistichnikh-lokatsiyakh-ivano-frankivskoyi-oblasti>. Індексунання: наукове фахове видання України, категорія Б.

8. Смик І., Архипова Л. Formation of a regional system for environmental monitoring of atmospheric air in tourist destinations. Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 2026. Т. 22, № 1. С. 66–86. DOI: 10.31548/dopovid1/1.2026.66. (наукове фахове видання України).
9. Архипова Л. М., Смик І. Є. Розвиток туризму і екологічна політика. Матеріали II Міжнародної наук.-практ. конф. «Екологія – філософія існування людства», 22–24 квітня. Київ, 2015. С. 145–146. [файл у автора]. Рівень: міжнародна.
10. Смик І. Є., Долгопола Г. Є. Визначення потреб щодо відтворення потенційних сил населення та трудових ресурсів Карпатського регіону у 2015–2016 роках. Матеріали XXIV Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. «Проблеми та перспективи розвитку науки...». Переяслав-Хмельницький, 2015. С. 30–32. URL: <https://surl.li/mxexau>. Рівень: міжнародна.
11. Смик І. Є., Архипова Л. М. Проблеми екологічної безпеки і екотуризм. Проблеми екологічної безпеки: зб. тез XIV наук.-техн. конф. Кременчук, 2016. С. 17–18. URL: <https://surli.cc/hcjbsk>. Рівень: міжнародна.
12. Смик І. Є., Архипова Л. М. Імперативи формування туризму в Івано-Франківській області. Матеріали II Всеукр. наук.-практ. конф. «Стан та перспективи розвитку культурологічної науки в Україні». Миколаїв: ВП «МФ КНУКІМ», 2016. С. 151–154. [файл у автора]. Рівень: всеукраїнська.
13. Архипова Л. М., Смик І. Є. Інтегральний туризм в системі міжнародних відносин. Міжнар. наук.-практ. дистанц. конф. «Міжнародні відносини: історія, теорія та практика». Суми, 2017. С. 70–73. [файл у автора]. Рівень: міжнародна.
14. Смик І. Є., Побігун О. В. Фактори та умови формування ризиків туристичного ринку. Матеріали XI міжнар. наук.-практ. конф. студентів та молодих вчених «Нові шляхи у наукових дослідженнях». Краматорськ, 2017. С. 150–153. [файл у автора]. Рівень: міжнародна.
15. Архипова Л. М., Смик Ірина. Транскордонне співробітництво у вимірах Карпатського регіону. Матеріали II Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. «Наука III тисячоліття: пошуки, проблеми, перспективи розвитку». Бердянськ, 2018. С. 59–61. URL: <https://surl.li/mphkoi>. Рівень: міжнародна.
16. Смик І. Є., Архипова Л. М. Екологічні ризики безпеки енергетики. «Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля»: зб. матеріалів міжнар. конф. Івано-Франківськ – Бая-Маре, 2022. С. 12–17. URL: <https://surl.li/glwdfo>. Рівень: міжнародна.
17. Смик І. Є., Архипова Л. М. Використання зелених технологій для оптимізації водопостачання в туристичних районах Івано-Франківської області. V Міжнар. наук.-техн. конф. «Водопостачання і водовідведення...». Львів, 11–13 жовтня 2023. С. 49–50. DOI: <https://doi.org/10.51500/7826-33-9>; URL: <https://surl.li/tzzfha>. Рівень: міжнародна.
18. Смик І. Є., Архипова Л. М. Роль сталого розвитку в забезпеченні екологічної безпеки туристичної галузі. VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Екологічний стан навколишнього середовища...». Херсон, 26–27 жовтня 2023. С. 174–176. URL: <https://surl.li/yycmqc>. Рівень: міжнародна.

19. Смик І. Є., Архипова Л. М. Світові тенденції впровадження відновлюваних джерел енергії та їх вплив на екологічну безпеку в туристичному секторі. Тези XVII Всеукр. наук.-практ. конф. «Екологічна безпека держави». Київ, 20 квітня 2023. С. 37–38. НАУ, 2023. URL: <https://surl.li/ciwihq>. Рівень: всеукраїнська.

20. Смик І. Є., Архипова Л. М. Аналіз використання електроенергії туристичним сектором Івано-Франківської області. Міжнар. наук.-практ. конф. «Сталий розвиток економіки, суспільства та підприємництва». Івано-Франківськ, 27–28 квітня 2023. С. 555–558. ISBN 978-617-95283-3-0. URL: <https://surl.li/cc/tjioqm>. Рівень: міжнародна.

21. Смик І. Є., Архипова Л. М. Перспективи та виклики інтеграції відновлюваних джерел енергії в туристичний сектор Івано-Франківської області. Зб. наук. праць Міжнародної Карпатської школи (зимова сесія), 21–25 лютого 2024. Косів: НТШ, 2024. С. 253–256. URL: <https://surl.li/nfyoya>. Рівень: міжнародна.

22. Смик І. Є., Архипова Л. М. Аналіз екологічної стійкості Івано-Франківської області. IX Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток...». Львів, 28–29 березня 2024. С. 246. URL: <https://surl.li/nbqblo>. Рівень: міжнародна.

23. Смик І. Є., Архипова Л. М. Виклики та перспективи забезпечення екологічної безпеки розвитку туризму в Івано-Франківській області. IX Міжнародний з'їзд екологів. Вінниця, 25–27 вересня 2024. С. 271–274. ISBN 978-617-8163-22-8. URL: <https://surl.li/cc/qctlcz>. Рівень: міжнародна.

24. Смик І. Є., Архипова Л. М. Екологічні ризики розвитку туризму в Івано-Франківській області та шляхи їх мінімізації. VIII Міжнародний конгрес «Сталий розвиток...». Львів, 16–18 жовтня 2024. С. 222–224. ISBN 978-617-8285-40-1. URL: <https://surl.li/netxaj>. Рівень: міжнародна.

25. Смик І. Є., Архипова Л. М. Основні принципи екологічної безпеки в туристичній галузі під час війни. Міжнар. наук.-теорет. та прикладна конф. «Відновлення екосистем, які постраждали внаслідок воєнних дій». Київ, 6 листопада 2024. С. 127–132. URL: <https://surl.li/htzqqp>. Рівень: міжнародна.

26. Архипова Л. М., Кравченко В. Ю., Смик І. Є. Культурна активність молоді як чинник збереження традицій Карпатського регіону. Зб. наук. праць Міжнародної Карпатської школи: весняна сесія (1–5 травня 2025). Яремче–Косів: НТШ, 2025. С. 73–77. URL: <https://surl.li/azxfgx>. Рівень: міжнародна.

27. Смик І. Є., Архипова Л. М. Досвід Польщі у забезпеченні екологічної безпеки в рамках євроінтеграції: перспективи для України. Матеріали II наук.-практ. конф. «Стратегії та політики ЄС...» (20–21 березня 2025). Кривий Ріг: КНУ, 2025. С. 109–112. URL: <https://surl.li/ssmitu>. Рівень: міжнародна.

28. Смик І. Є. Впровадження системи екологічного менеджменту в туристичній діяльності: перспективи для України. «Екологічна безпека держави»: тези XVIII Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених і студентів (Київ, 18 квітня 2025). Київ: Київський авіаційний інститут, 2025. С. 94. DOI: <https://doi.org/10.18372/2786-8168.19.19988>; URL: <https://surl.li/coyhbq>. Рівень: міжнародна.

29. Смик І. Є. Розвиток зеленого туризму в Прикарпатті: проблеми та перспективи. Географічні дослідження: історія, сьогодення, перспективи (за матеріалами щорічної наук. конференції, 10 квітня 2025, Харків). Вип. 17. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2025. С. 157–159. URL: <https://ekhnuir.karazin.ua/handle/123456789/21500> (скорочене посилання: <https://surl.li/kscuyx>). Рівень: всеукраїнська.

30. Смик І. Є., Архипова Л. М. Європейські практики екологічного моніторингу у сфері туризму. Трансформаційні підходи до сталого розвитку: екологічна освіта, наука та природоохоронні практики для відбудови України : тези Міжнародної науково-практичної конференції, 22–26 вересня 2025 р. Житомир : Житомирська політехніка, 2025. С. 90–92.

31. Смик І. Є. Екологічна освіта населення і туристів як чинник сталого розвитку регіонів Карпат. Екологічно сталий розвиток урбосистем: виклики та рішення в контексті європейської інтеграції України : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., Харків, 12 листоп. 2025 р. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. С. 190–192.

32. Смик І. Якість атмосферного повітря у туристичних регіонах у контексті європейського досвіду та українських викликів. *Проблеми забезпечення інформаційної безпеки в міжнародному співробітництві : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (5 верес. 2025 р.) Ужгород. нац. ун-т ; редкол. Ужгород, 2025. С. 219–227*

33. Смик І., Архипова Л. М. Екологічні ризики формування побутових відходів в Івано-Франківській області (за 2019–2024 рр.). *Матеріали Регіональної конференції «Молодіжний екогеофорум – 2025» (19–20 листопада 2025 р., м. Івано-Франківськ). Івано-Франківськ, 2025. С. 76–78.*

Панельний датасет (2019–2024, км²-нормування)

Код КАТОТТГ	YEAR	TN km2	W km2	AIR km2	DW km2	MSW km2	TN km2 lag1	heavy
UA26020010000096556	2019	0,15				0,02		FALSE
UA26020010000096556	2020	0,31				0,01	0,15	FALSE
UA26020010000096556	2021	0,46		0,00		0,25	0,31	FALSE
UA26020010000096556	2022	0,45		0,04		0,25	0,46	FALSE
UA26020010000096556	2023	1,62		0,11		0,25	0,45	FALSE
UA26020010000096556	2024	1,65		0,02		0,04	1,62	FALSE
UA26020030000088465	2019	4,47		0,15	0,01	1,43		FALSE
UA26020030000088465	2020	8,15		0,08	0,01	1,23	4,47	FALSE
UA26020030000088465	2021	7,04		0,09	0,01	1,37	8,15	FALSE
UA26020030000088465	2022	12,12		0,10	0,01	1,43	7,04	FALSE
UA26020030000088465	2023	18,01		0,42	0,00	0,59	12,12	FALSE
UA26020030000088465	2024	24,07		0,13	0,00	1,81	18,01	FALSE
UA26020050000098694	2021	11,79		0,00		0,00		FALSE
UA26020050000098694	2022	2,78		0,00		0,00	11,79	FALSE
UA26020050000098694	2023	8,88		0,00		0,01	2,78	FALSE
UA26020050000098694	2024	7,41		0,00		0,01	8,88	FALSE
UA26040030000091528	2019	6,28	182,64	910,90	0,11	0,37		FALSE
UA26040030000091528	2020	2,49	3,64	172,72	0,10	1,34	6,28	FALSE
UA26040030000091528	2021	3,88	17,05	95,71	0,13	1,08	2,49	FALSE
UA26040030000091528	2022	9,67	507,82	122,55	0,10	0,28	3,88	FALSE
UA26040030000091528	2023	22,22	384,22	126,08	0,05	0,84	9,67	FALSE
UA26040030000091528	2024	24,47	28,91	67,65	0,11	0,37	22,22	FALSE
UA26040050000080752	2024	0,01		0,57		0,07		FALSE
UA26040070000065724	2019	0,92		43958,68	2,96	469,81		TRUE
UA26040070000065724	2020	0,00		31751,46	1,53	241,95	0,92	TRUE
UA26040070000065724	2021	0,00		40364,13	2,59	307,00	0,00	TRUE
UA26040070000065724	2022	0,99		37681,44	1,68	177,23	0,00	TRUE
UA26040070000065724	2023	1,89		34196,26	0,38	29,36	0,99	TRUE
UA26040070000065724	2024	5,42		24459,36	0,43	30,64	1,89	TRUE
UA26040090000025932	2019	0,15	103,44	880,20	2,05	1022,17		FALSE
UA26040090000025932	2020	0,60	82,32	400,04	1,01	1175,86	0,15	FALSE
UA26040090000025932	2021	3,01	0,98	30,00	0,13	2307,47	0,60	FALSE
UA26040090000025932	2022	1,61	1,97	12,93	0,09	1573,15	3,01	FALSE
UA26040090000025932	2023	3,69	1,97	3,41	0,16	373,39	1,61	FALSE
UA26040090000025932	2024	8,76		15,52		999,09	3,69	FALSE
UA26040110000023512	2019	0,08		0,00				FALSE
UA26040190000081578	2019	133,18	69,49	773,45	0,14	443,70		FALSE
UA26040190000081578	2020	171,79	134,56	644,31	0,35	471,76	133,18	FALSE
UA26040190000081578	2021	237,00	99,38	747,69	0,23	474,97	171,79	FALSE
UA26040190000081578	2022	390,01	125,47	324,87	0,10	262,62	237,00	FALSE
UA26040190000081578	2023	370,35	166,36	143,77	0,00	0,88	390,01	FALSE
UA26040190000081578	2024	398,91	145,41	67,32	0,01	0,76	370,35	FALSE

UA26040210000094444	2024	1,53		0,04	0,05	1,23		FALSE
UA26040270000047749	2019	1,07	115,85	63,42	0,08	4,72		FALSE
UA26040270000047749	2020	0,85	112,23	69,76	0,06	5,05	1,07	FALSE
UA26040270000047749	2021	1,53		46,75	0,04	5,08	0,85	FALSE
UA26040270000047749	2022	1,44		46,37	0,03	3,91	1,53	FALSE
UA26040270000047749	2023	1,92	100,50	7,75	0,01	1,18	1,44	FALSE
UA26040270000047749	2024	2,05	339,91	6,71	0,01	4,99	1,92	FALSE
UA26040290000025886	2019	4,31		0,00		1,07		FALSE
UA26040290000025886	2020	2,70		0,00		1,07	4,31	FALSE
UA26040290000025886	2021	3,64		0,01		2,49	2,70	FALSE
UA26040290000025886	2022	6,58		0,48		0,53	3,64	FALSE
UA26040290000025886	2023	5,48		1,43		0,00	6,58	FALSE
UA26040290000025886	2024	5,21		0,87		0,00	5,48	FALSE
UA26040330000019235	2019	1,48	10,29	10058,34	17,75	108,81		FALSE
UA26040330000019235	2020	1,94	0,00	10745,59	19,58	0,91	1,48	FALSE
UA26040330000019235	2021	1,28	0,83	12015,46	19,32	0,54	1,94	FALSE
UA26040330000019235	2022	1,84	0,00	6033,64	13,38	0,47	1,28	FALSE
UA26040330000019235	2023	0,52		2,04			1,84	FALSE
UA26040330000019235	2024	1,58		1,14			0,52	FALSE
UA26040370000057019	2019	60,25		0,02				FALSE
UA26040370000057019	2020	54,82		0,02			60,25	FALSE
UA26040370000057019	2021	27,72		0,23			54,82	FALSE
UA26040370000057019	2022	82,93	93,00	0,55			27,72	FALSE
UA26040370000057019	2023	48,93	73,77	0,65			82,93	FALSE
UA26040370000057019	2024	38,69		0,62			48,93	FALSE
UA26040390000023006	2024	16,54	20200,51	22895,23	39,44	886,21		TRUE
UA26060010000037638	2019	0,46		9,24	0,21	23,59		FALSE
UA26060010000037638	2020	0,00		6,36	0,10	23,26	0,46	FALSE
UA26060010000037638	2021	0,00		5,28	0,08	30,99	0,00	FALSE
UA26060010000037638	2022	4,09		2,71	0,04	18,93	0,00	FALSE
UA26060010000037638	2023	2,60		1,62	0,04	0,02	4,09	FALSE
UA26060010000037638	2024	1,47	459,25	3,25	0,07	0,03	2,60	FALSE
UA26060070000011203	2019	4,22		22,88	0,08	0,30		FALSE
UA26060070000011203	2020	0,80		17,29	0,07	0,18	4,22	FALSE
UA26060070000011203	2021	7,79	40,63	13,85	0,06	0,50	0,80	FALSE
UA26060070000011203	2022	7,27	919,14	11,53	0,05	0,25	7,79	FALSE
UA26060070000011203	2023	7,79	61,76	15,87	0,06	0,19	7,27	FALSE
UA26060070000011203	2024	4,69	63,84	16,33	0,05	0,37	7,79	FALSE
UA26060110000025739	2019	0,13			0,01			FALSE
UA26060110000025739	2020	0,12		2,43	0,02		0,13	FALSE
UA26060130000047466	2019	5,04	1045,39	423,43	0,27	41,34		FALSE
UA26060130000047466	2020	3,88	1049,66	382,27	0,28	46,37	5,04	FALSE
UA26060130000047466	2021	6,91	979,38	623,59	0,29	45,97	3,88	FALSE
UA26060130000047466	2022	5,61		487,19	0,22	47,60	6,91	FALSE
UA26060130000047466	2023	5,50	6,33	431,52	0,12	28,99	5,61	FALSE
UA26060130000047466	2024	8,46	209,12	325,09	0,11	51,96	5,50	FALSE
UA26060170000091466	2019	1,99	42,03	5111,27	37,51	342,38		TRUE
UA26060170000091466	2020	1,19	4,12	4204,33	38,66	262,42	1,99	TRUE

UA26060170000091466	2021	1,76	145,12	3819,13	42,21	251,28	1,19	TRUE
UA26060170000091466	2022	3,28	223,66	2116,59	25,08	136,50	1,76	TRUE
UA26060170000091466	2023	6,58	377,80	1820,90	23,19	149,18	3,28	TRUE
UA26060170000091466	2024	9,27	253,73	1286,50	12,13	128,27	6,58	TRUE
UA26060210000091421	2019	0,85		0,03		1,71		FALSE
UA26060210000091421	2020	1,15		0,07		1,75	0,85	FALSE
UA26060210000091421	2021	1,51	1105,69	0,02	0,00	1,60	1,15	FALSE
UA26060210000091421	2023	2,44	2083,36	3,10	0,00	0,29	1,51	FALSE
UA26060210000091421	2024	1,67	2090,16	3,40	0,00	0,74	2,44	FALSE
UA26080030000014307	2019	0,31		10,70	0,12	1,43		FALSE
UA26080030000014307	2020	4,41		11,83	0,15	1,07	0,31	FALSE
UA26080030000014307	2021	1,01	2,73	13,79	0,14	1,15	4,41	FALSE
UA26080030000014307	2022	0,68	106,25	7,36	0,09	1,01	1,01	FALSE
UA26080030000014307	2023	1,15	116,17	1,80	0,03	0,50	0,68	FALSE
UA26080030000014307	2024	1,45	133,47	4,12	0,10	0,48	1,15	FALSE
UA26080050000081474	2019	0,74		0,03	0,04	0,24		FALSE
UA26080050000081474	2020	1,37		0,03	0,04	0,18	0,74	FALSE
UA26080050000081474	2021	0,99	296,99	0,03	0,04	0,10	1,37	FALSE
UA26080050000081474	2022	1,27		0,06	0,04		0,99	FALSE
UA26080050000081474	2023	0,75	15,87	1,82	0,04		1,27	FALSE
UA26080050000081474	2024	0,74	9,36	2,50	0,03		0,75	FALSE
UA26080070000092582	2019	14,26	24,90	72,88	6,94	84,12		FALSE
UA26080070000092582	2020	11,51	3179,16	63,77	7,10	78,72	14,26	FALSE
UA26080070000092582	2021	20,06	3126,48	39,13	7,17	66,62	11,51	FALSE
UA26080070000092582	2022	24,22	93,29	27,22	6,78	52,58	20,06	FALSE
UA26080070000092582	2023	23,46	89,38	29,17	7,13	39,80	24,22	FALSE
UA26080070000092582	2024	34,81	84,34	54,33	7,95	72,29	23,46	FALSE
UA26080110000076323	2020	0,24	90,29	0,02		3,55		FALSE
UA26080130000058024	2021	1,38		0,01				FALSE
UA26080130000058024	2022	0,39		0,17			1,38	FALSE
UA26080130000058024	2023	5,93		0,24			0,39	FALSE
UA26080130000058024	2024	0,37		0,40			5,93	FALSE
UA26080170000041182	2019	4,61		13,02	0,00	1,73		FALSE
UA26080170000041182	2020	4,38		11,42	0,01	0,01	4,61	FALSE
UA26080170000041182	2021	2,13		13,16	0,00	0,02	4,38	FALSE
UA26080170000041182	2022	1,33		16,34	0,00	0,01	2,13	FALSE
UA26080170000041182	2023	0,17		7,20	0,00	0,01	1,33	FALSE
UA26080170000041182	2024	0,02		5,86	0,00	0,01	0,17	FALSE
UA26080210000049380	2019	0,56		0,02	0,00	0,13		FALSE
UA26080210000049380	2020	0,18		0,01	0,03	1,89	0,56	FALSE
UA26080210000049380	2021	0,13		0,03	0,03	7,60	0,18	FALSE
UA26080210000049380	2022	0,48		0,08	0,02	7,37	0,13	FALSE
UA26080230000035462	2019	0,25	2826,52	28,60	0,04	3,57		FALSE
UA26080230000035462	2020	0,19	2358,84	10,64	0,05	3,43	0,25	FALSE
UA26080230000035462	2021	0,18	2303,37	24,53	0,06	3,03	0,19	FALSE
UA26080230000035462	2022	0,31	4301,25	17,44	0,04	2,38	0,18	FALSE
UA26080230000035462	2023	0,66	1848,49	19,49	0,01	0,87	0,31	FALSE
UA26080230000035462	2024	0,43		19,38	0,06	4,64	0,66	FALSE

UA26080250000056546	2019	8,90		0,02				FALSE
UA26080250000056546	2021	5,01		0,16			8,90	FALSE
UA26080250000056546	2022	0,72		0,34		0,00	5,01	FALSE
UA26080250000056546	2023	1,48		0,30		0,00	0,72	FALSE
UA26080250000056546	2024	2,45		0,22		0,00	1,48	FALSE
UA26100010000076570	2019	17,59	517,15	28,05	0,02	0,16		FALSE
UA26100010000076570	2020	15,71	58,26	24,96	0,02	0,11	17,59	FALSE
UA26100010000076570	2021	24,18	4,75	11,10	0,02	0,10	15,71	FALSE
UA26100010000076570	2022	32,85		16,56	0,02	0,09	24,18	FALSE
UA26100010000076570	2023	30,64		0,54	0,02	0,03	32,85	FALSE
UA26100010000076570	2024	29,21		0,97	0,03	0,04	30,64	FALSE
UA26100030000012148	2019	0,10				0,04		FALSE
UA26100030000012148	2020	0,09				0,03	0,10	FALSE
UA26100030000012148	2021	0,54					0,09	FALSE
UA26100030000012148	2022	2,14		0,09			0,54	FALSE
UA26100030000012148	2023	0,64		0,17			2,14	FALSE
UA26100030000012148	2024	0,69		0,18			0,64	FALSE
UA26100050000019570	2019	11,03		0,00		0,32		FALSE
UA26100050000019570	2020	11,70	20,40	0,04		0,48	11,03	FALSE
UA26100050000019570	2021	29,93	104,40	0,05		0,02	11,70	FALSE
UA26100050000019570	2022	41,41	267,66	0,13		0,00	29,93	FALSE
UA26100050000019570	2023	69,67	313,71	0,37		0,00	41,41	FALSE
UA26100050000019570	2024	36,85	348,77	2,27		0,11	69,67	FALSE
UA26100090000038366	2019	0,47		0,53		0,02		FALSE
UA26100090000038366	2020	1,21		0,48		0,03	0,47	FALSE
UA26100090000038366	2021	2,26		0,00		0,02	1,21	FALSE
UA26100090000038366	2022	0,53		6,53		0,03	2,26	FALSE
UA26100090000038366	2023	1,04	0,00	21,73		0,09	0,53	FALSE
UA26100090000038366	2024	2,49	206,31	41,07		20,67	1,04	FALSE
UA26120010000096774	2019	151,02	33,29	0,25	0,01	0,34		FALSE
UA26120010000096774	2020	217,76		0,20	0,01	0,27	151,02	FALSE
UA26120010000096774	2021	353,94		5,63	0,18	0,48	217,76	FALSE
UA26120010000096774	2022	280,44		4,13	0,28	0,25	353,94	FALSE
UA26120010000096774	2023	432,30		4,88	0,03	0,26	280,44	FALSE
UA26120010000096774	2024	449,56	52,27	4,43	0,03	0,36	432,30	FALSE
UA26120030000018265	2019	10,03		5,41	0,03	0,10		FALSE
UA26120030000018265	2020	6,32		4,88	0,03		10,03	FALSE
UA26120030000018265	2021	18,45		2,86	0,02	0,00	6,32	FALSE
UA26120030000018265	2022	9,32		0,59	0,00	0,01	18,45	FALSE
UA26120030000018265	2023	11,87		2,41	0,02	0,01	9,32	FALSE
UA26120030000018265	2024	6,45	39,16	3,10	0,01	0,01	11,87	FALSE
UA26120070000067596	2019	6,55	2333,84	405,53	4,27	56,47		FALSE
UA26120070000067596	2020	5,86	2233,08	404,37	3,58	45,99	6,55	FALSE
UA26120070000067596	2021	8,02	915,27	359,54	3,38	57,33	5,86	FALSE
UA26120070000067596	2022	4,66	1313,34	215,82	3,60	26,81	8,02	FALSE
UA26120070000067596	2023	7,64	3605,73	59,33	4,55	4,29	4,66	FALSE
UA26120070000067596	2024	9,11	1153,04	42,37	3,39	2,71	7,64	FALSE
UA26120090000072057	2019	0,00				0,02		FALSE

UA26120090000072057	2020	0,00	42,38			0,02	0,00	FALSE
UA26120090000072057	2021	0,00	58,01	10,36		0,02	0,00	FALSE
UA26120090000072057	2022	5,32	92,13	38,17		8,59	0,00	FALSE
UA26120090000072057	2023	10,15	117,02	89,02		3,10	5,32	FALSE
UA26120090000072057	2024	16,59	66,47	89,20		0,86	10,15	FALSE
UA26120130000088448	2019	386,68			0,00	0,02		FALSE
UA26120130000088448	2020	833,60	90,23		0,05	0,01	386,68	FALSE
UA26120130000088448	2021	1282,85	190,73	0,00	0,05	0,02	833,60	FALSE
UA26120130000088448	2022	2156,49	654,80	0,97	0,17	0,02	1282,85	FALSE
UA26120130000088448	2023	2247,14	586,09	3,80	0,55	0,05	2156,49	FALSE
UA26120130000088448	2024	2296,08	580,66	4,13	0,80	0,07	2247,14	FALSE
UA26120150000021671	2019	244,18	200,14	7,15	0,72	0,25		FALSE
UA26120150000021671	2020	324,86	519,72	4,72	0,74	0,13	244,18	FALSE
UA26120150000021671	2021	469,65	652,65	7,39	0,98	0,19	324,86	FALSE
UA26120150000021671	2022	404,29	824,54	7,24	0,55	0,27	469,65	FALSE
UA26120150000021671	2023	602,31	51,74	4,24	0,06	0,18	404,29	FALSE
UA26120150000021671	2024	631,82	665,07	5,39	0,06	0,15	602,31	FALSE

Схема нумерації територіальних громад Івано-Франківської області



Рис. В.1. Схема нумерації територіальних громад Івано-Франківської області

Таблиця В.1. відповідності номерів та назва територіальних громад

Номер територіальної громади	Назва територіальної громади	Код КАТОТТГ територіальної громади
1	Єзупільська селищна громада	UA26040150000053322
2	Івано-Франківська міська громада	UA26040190000081578
3	Богородчанська селищна громада	UA26040030000091528
4	Болехівська міська громада	UA26060010000037638
5	Брошнів-Осадська селищна громада	UA26060030000011364
6	Букачівська селищна громада	UA26040050000080752
7	Бурштинська міська громада	UA26040070000065724
8	Білоберізька сільська громада	UA26020010000096556
9	Більшівцівська селищна громада	UA26040010000011271
10	Верхнянська сільська громада	UA26060050000042523
11	Верховинська селищна громада	UA26020030000088465
12	Вигодська селищна громада	UA26060070000011203
13	Витвицька сільська громада	UA26060090000054411
14	Войнилівська селищна громада	UA26060110000025739
15	Ворохтянська селищна громада	UA26120010000096774
16	Галицька міська громада	UA26040090000025932
17	Гвіздецька селищна громада	UA26080010000036750
18	Городенківська міська громада	UA26080030000014307
19	Делятинська селищна громада	UA26120030000018265
20	Дзвиняцька сільська громада	UA26040110000023512
21	Долинська міська громада	UA26060130000047466
22	Дубовецька сільська громада	UA26040130000010870
23	Дубівська сільська громада	UA26060150000074921
24	Заболотівська селищна громада	UA26080050000081474
25	Загвіздянська сільська громада	UA26040170000097347
26	Зеленська сільська громада	UA26020050000098694
27	Калуська міська громада	UA26060170000091466
28	Коломийська міська громада	UA26080070000092582
29	Коршівська сільська громада	UA26080090000095729

30	Космацька сільська громада	UA26100030000012148
31	Косівська міська громада	UA26100010000076570
32	Кутська селищна громада	UA26100050000019570
33	Ланчинська селищна громада	UA26120050000087602
34	Лисецька селищна громада	UA26040210000094444
35	Матеївецька сільська громада	UA26080110000076323
36	Надвірнянська міська громада	UA26120070000067596
37	Нижньовербізька сільська громада	UA26080130000058024
38	Новицька сільська громада	UA26060190000099075
39	Обертинська селищна громада	UA26040230000035526
40	Олешанська сільська громада	UA26040250000061081
41	Отинійська селищна громада	UA26080150000032640
42	П'ядицька сільська громада	UA26080210000049380
43	Пасічнянська сільська громада	UA26120090000072057
44	Перегінська селищна громада	UA26060210000091421
45	Переріслянська сільська громада	UA26120110000086381
46	Печеніжинська селищна громада	UA26080170000041182
47	Поляницька сільська громада	UA26120130000088448
48	Підгайчиківська сільська громада	UA26080190000080618
49	Рогатинська міська громада	UA26040270000047749
50	Рожнятівська селищна громада	UA26060230000053464
51	Рожнівська сільська громада	UA26100070000078132
52	Снятинська міська громада	UA26080230000035462
53	Солотвинська селищна громада	UA26040290000025886
54	Спаська сільська громада	UA26060250000064599
55	Старобогородчанська сільська громада	UA26040310000066064
56	Тисменицька міська громада	UA26040330000019235
57	Тлумацька міська громада	UA26040350000024417
58	Угринівська сільська громада	UA26040370000057019
59	Чернелицька селищна громада	UA26080250000056546
60	Яблунівська селищна громада	UA26100090000038366
61	Ямницька сільська громада	UA26040390000023006
62	Яремчанська міська громада	UA26120150000021671

Лістинг Python-скрипта для розрахунків панельних моделей з фіксованими ефектами

```

# ecogeo_fe_panel_full_viz.py
# End-to-end pipeline: build panel (2019–2024), FE (two-way) in two directions,
# export CSVs + DOCX tables + multiple visualizations (forest, caterpillar of FE, FWL partial residuals, fitted vs observed).

import os, math, numpy as np, pandas as pd, statsmodels.api as sm, shapefile
import matplotlib.pyplot as plt
from docx import Document
from docx.shared import Inches
from docx.enum.text import WD_ALIGN_PARAGRAPH
from docx.enum.table import WD_TABLE_ALIGNMENT

BASE="data"

# ----- Geometry helpers -----
def area_km2_from_wgs84_ring(points):
    if len(points) < 3: return 0.0
    R = 6371008.8
    lats = [pt[1] for pt in points]; lons = [pt[0] for pt in points]
    lat0 = math.radians(sum(lats)/len(lats))
    xs = [math.radians(lon) * math.cos(lat0) * R for lon in lons]
    ys = [math.radians(lat) * R for lat in lats]
    area2 = 0.0
    for i in range(len(xs)):
        j = (i+1) % len(xs); area2 += xs[i]*ys[j] - xs[j]*ys[i]
    return abs(area2)/2.0/1e6

def shape_area_km2(shape):
    pts = shape.points; parts = list(shape.parts)+[len(pts)]
    total=0.0
    for i in range(len(parts)-1):
        ring = pts[parts[i]:parts[i+1]]; total += area_km2_from_wgs84_ring(ring)
    return total

def read_areas_from_shp(shp_path):
    sf = shapefile.Reader(shp_path)
    field_names = [f[0] for f in sf.fields][1:]
    recs=[]
    for sr in sf.iterShapeRecords():
        m = dict(zip(field_names, sr.record))
        code = next((str(m[k]) for k in m if "katot" in k.lower()), None)
        if code is None:
            raise RuntimeError("Не знайдено поле КАТОТТГ у шейпфайлі.")
        name = next((str(m[k]) for k in m if "name" in k.lower()), code)
        area = shape_area_km2(sr.shape)
        recs.append({"HKATOTTG": code, "name": name, "area_km2": area})
    df = pd.DataFrame(recs).groupby("HKATOTTG", as_index=False).agg(name=("name", "first"), area_km2=("area_km2", "sum"))
    return df

# ----- Panel build -----
def build_panel():
    areas = read_areas_from_shp(os.path.join(BASE, "IF_reg_TG_bou_7.shp"))
    # TN
    tn = pd.read_csv(os.path.join(BASE, "згруповано_турзбіп.csv")).rename(
        columns={"Код_громади": "HKATOTTG", "Рік": "YEAR", "Всього_туристо_діб": "TN"})
    tn["HKATOTTG"]=tn["HKATOTTG"].astype(str)
    tn = tn.merge(areas, on="HKATOTTG", how="left")
    tn["TN_km2"]=tn["TN"]/tn["area_km2"]

```

```

tn = tn[["HKATOTTG", "name", "YEAR", "TN_km2"]]

# Water
voda = pd.read_excel(os.path.join(BASE, "voda.xlsx"))
code_col = next((c for c in ["HKATOTTG", "TG", "katottg", "KATOTTG"] if c in voda.columns), None)
year_col = next((c for c in ["PERIOD_YEAR", "P_YEAR", "YEAR"] if c in voda.columns), None)
voda["HKATOTTG"] = voda[code_col].astype(str); voda["YEAR"] = pd.to_numeric(voda[year_col], errors="coerce")
num_cols = voda.select_dtypes(include=[np.number]).columns.tolist()
if year_col in num_cols: num_cols.remove(year_col)
W = voda.groupby(["HKATOTTG", "YEAR"])[num_cols].sum().sum(axis=1).reset_index(name="W_total")
W = W.merge(areas[["HKATOTTG", "area_km2"]], on="HKATOTTG", how="left")
W["W_km2"] = W["W_total"] / W["area_km2"]

# AIR
air = pd.read_excel(os.path.join(BASE, "ecol1_cleaned.xlsx"))
c = next((x for x in ["HKATOTTG", "katottg", "KATOTTG"] if x in air.columns), None)
y = next((x for x in ["P_YEAR", "PERIOD_YEAR", "YEAR"] if x in air.columns), None)
v = next((x for x in ["POLLUTION_VOL", "VALUE", "VAL", "AMOUNT"] if x in air.columns), None)
air = air.rename(columns={c: "HKATOTTG", y: "YEAR", v: "AIR"})
air["HKATOTTG"] = air["HKATOTTG"].astype(str); air["YEAR"] = pd.to_numeric(air["YEAR"], errors="coerce")
air["AIR"] = pd.to_numeric(air["AIR"], errors="coerce").fillna(0)
AIR = air.groupby(["HKATOTTG", "YEAR"])["AIR"].sum().reset_index().merge(areas[["HKATOTTG", "area_km2"]],
on="HKATOTTG", how="left")
AIR["AIR_km2"] = AIR["AIR"] / AIR["area_km2"]

# DW
dw = pd.read_excel(os.path.join(BASE, "ecol2_cleaned.xlsx"))
c = next((x for x in ["HKATOTTG", "katottg", "KATOTTG"] if x in dw.columns), None)
y = next((x for x in ["P_YEAR", "PERIOD_YEAR", "YEAR"] if x in dw.columns), None)
v = next((x for x in ["POLLUTION_VOL", "VALUE", "VAL", "AMOUNT"] if x in dw.columns), None)
dw = dw.rename(columns={c: "HKATOTTG", y: "YEAR", v: "DW"})
dw["HKATOTTG"] = dw["HKATOTTG"].astype(str); dw["YEAR"] = pd.to_numeric(dw["YEAR"], errors="coerce")
dw["DW"] = pd.to_numeric(dw["DW"], errors="coerce").fillna(0)
DW = dw.groupby(["HKATOTTG", "YEAR"])["DW"].sum().reset_index().merge(areas[["HKATOTTG", "area_km2"]],
on="HKATOTTG", how="left")
DW["DW_km2"] = DW["DW"] / DW["area_km2"]

# MSW
msw = pd.read_excel(os.path.join(BASE, "ecol3_cleaned.xlsx"))
c = next((x for x in ["HKATOTTG", "katottg", "KATOTTG"] if x in msw.columns), None)
y = next((x for x in ["P_YEAR", "PERIOD_YEAR", "YEAR"] if x in msw.columns), None)
v = next((x for x in ["POLLUTION_VOL", "VALUE", "VAL", "AMOUNT"] if x in msw.columns), None)
msw = msw.rename(columns={c: "HKATOTTG", y: "YEAR", v: "MSW"})
msw["HKATOTTG"] = msw["HKATOTTG"].astype(str); msw["YEAR"] = pd.to_numeric(msw["YEAR"], errors="coerce")
msw["MSW"] = pd.to_numeric(msw["MSW"], errors="coerce").fillna(0)
MSW = msw.groupby(["HKATOTTG", "YEAR"])["MSW"].sum().reset_index().merge(areas[["HKATOTTG", "area_km2"]],
on="HKATOTTG", how="left")
MSW["MSW_km2"] = MSW["MSW"] / MSW["area_km2"]

panel = tn.merge(W[["HKATOTTG", "YEAR", "W_km2"]], on=["HKATOTTG", "YEAR"], how="left") \
    .merge(AIR[["HKATOTTG", "YEAR", "AIR_km2"]], on=["HKATOTTG", "YEAR"], how="left") \
    .merge(DW[["HKATOTTG", "YEAR", "DW_km2"]], on=["HKATOTTG", "YEAR"], how="left") \
    .merge(MSW[["HKATOTTG", "YEAR", "MSW_km2"]], on=["HKATOTTG", "YEAR"], how="left")
panel = panel[panel["YEAR"].between(2019, 2024)].sort_values(["HKATOTTG", "YEAR"]).copy()
panel["TN_km2_lag1"] = panel.groupby("HKATOTTG")["TN_km2"].shift(1)
for Y in ["W_km2", "AIR_km2", "DW_km2", "MSW_km2"]:
    panel[f"{Y}_lag1"] = panel.groupby("HKATOTTG")[Y].shift(1)
heavy = {"Бурштинська міська громада", "Калуська міська громада", "Ямницька сільська громада"}
panel["heavy"] = panel["name"].isin(heavy)
return panel

# ----- FE estimators -----
def fe_ols(y_col, x_cols, df):

```

```

d = df[[y_col]+x_cols+["HKATOTTG","YEAR"]].dropna().copy()
if d.empty: return None, None
y = d[y_col].values
X = [np.ones(len(d))] + [d[c].values for c in x_cols]
TG = pd.get_dummies(pd.Categorical(d["HKATOTTG"]), drop_first=True)
TT = pd.get_dummies(pd.Categorical(d["YEAR"]), drop_first=True)
X = np.column_stack([*X, TG.values, TT.values])
m = sm.OLS(y, X).fit(cov_type="cluster", cov_kwds={"groups": pd.Categorical(d["HKATOTTG"]).codes})
coef=float(m.params[1]); se=float(m.bse[1]); t=coef/se if se!=0 else np.nan; p=float(m.pvalues[1])
return {"coef":coef,"se":se,"t":t,"p":p,"nobs":int(m.nobs)}, m

def model_stats(y_col, x_col, df):
d = df[[y_col,x_col,"HKATOTTG","YEAR"]].dropna().copy()
if d.empty: return None
y=d[y_col].values
X = np.column_stack([np.ones(len(d)), d[x_col].values,
                    pd.get_dummies(pd.Categorical(d["HKATOTTG"]), drop_first=True).values,
                    pd.get_dummies(pd.Categorical(d["YEAR"]), drop_first=True).values])
m = sm.OLS(y, X).fit(cov_type="cluster", cov_kwds={"groups": pd.Categorical(d["HKATOTTG"]).codes})
sd_y = np.std(y, ddof=1); sd_x = np.std(d[x_col].values, ddof=1)
beta_std = m.params[1]*(sd_x/sd_y) if sd_y>0 else np.nan
return {"R2": float(m.rsquared), "beta_std": float(beta_std), "nobs": int(m.nobs), "ngroups": int(d["HKATOTTG"].nunique())}

def iqr_effect(y_col, x_col, df):
d = df[[y_col,x_col,"HKATOTTG","YEAR"]].dropna().copy()
if d.empty: return (np.nan, np.nan)
y=d[y_col].values
X = np.column_stack([np.ones(len(d)), d[x_col].values,
                    pd.get_dummies(pd.Categorical(d["HKATOTTG"]), drop_first=True).values,
                    pd.get_dummies(pd.Categorical(d["YEAR"]), drop_first=True).values])
m = sm.OLS(y, X).fit(cov_type="cluster", cov_kwds={"groups": pd.Categorical(d["HKATOTTG"]).codes})
coef=float(m.params[1])
q1,q3 = np.percentile(d[x_col].values, [25,75])
abs_eff = coef*(q3-q1)
med_y = np.median(y)
pct = abs_eff/med_y*100 if med_y!=0 else np.nan
return abs_eff, pct

# LSDV to recover unit FE (alpha_i) and time FE (tau_t)
def lsdv_two_way(y_col, x_col, df):
d = df[[y_col, x_col, "HKATOTTG", "YEAR"]].dropna().copy()
if d.empty: return None, None, None, None
y = d[y_col].values
# Build full-rank design: intercept + x + (N-1) unit dummies + (T-1) time dummies
units = pd.Categorical(d["HKATOTTG"]); years = pd.Categorical(d["YEAR"])
D_unit = pd.get_dummies(units, drop_first=True); unit_levels = units.categories.tolist()
D_time = pd.get_dummies(years, drop_first=True); time_levels = years.categories.tolist()
X = np.column_stack([np.ones(len(d)), d[x_col].values, D_unit.values, D_time.values])
mdl = sm.OLS(y, X).fit(cov_type="cluster", cov_kwds={"groups": units.codes})
# Recover alphas relative to dropped baseline
intercept = mdl.params[0]; beta = mdl.params[1]
# unit FE: baseline unit (first category) has 0 dummy; others have coeff equal to their dummy param
alphas = {}
for i,u in enumerate(unit_levels):
    if i==0:
        alphas[u] = 0.0
    else:
        alphas[u] = mdl.params[1+i] # after intercept and x, next (N-1) params are unit dummies
# Convert to centered alphas around mean zero to avoid baseline artifact
a_vals = np.array(list(alphas.values())); a_center = a_vals - a_vals.mean()
alphas_centered = {u: a_center[i] for i,u in enumerate(unit_levels)}
# time FE (tau): similar approach
taus = {}

```

```

offset = 2 + (len(unit_levels)-1)
for j,t in enumerate(time_levels):
    if j==0:
        taus[t] = 0.0
    else:
        taus[t] = mdl.params[offset + (j-1)]
t_vals = np.array(list(taus.values())); t_center = t_vals - t_vals.mean()
taus_centered = {t: t_center[j] for j,t in enumerate(time_levels)}
return mdl, alphas_centered, taus_centered, beta

# ----- DOCX helpers -----
def add_table_from_df(doc, df, title):
    doc.add_paragraph().add_run(title).bold = True
    table = doc.add_table(rows=1, cols=len(df.columns))
    table.alignment = WD_TABLE_ALIGNMENT.CENTER
    hdr = table.rows[0].cells
    for j,c in enumerate(df.columns):
        p=hdr[j].paragraphs[0]; p.alignment = WD_ALIGN_PARAGRAPH.CENTER; r=p.add_run(str(c)); r.bold=True
    for _,r in df.iterrows():
        cells = table.add_row().cells
        for j,c in enumerate(df.columns):
            p=cells[j].paragraphs[0]
            p.alignment = WD_ALIGN_PARAGRAPH.CENTER if j>0 else WD_ALIGN_PARAGRAPH.LEFT
            p.add_run(str(r[c]))
    return table

def save_tables_and_viz(panel, tab, rev_df, out_docx):
    # Primary DOCX with tables and inserted figures
    doc = Document()
    doc.add_heading("Панельні оцінки з фіксованими ефектами (ТГ×рік, 2019–2024)", level=1)

    tab1 = tab.copy()
    tab1["Y"] = tab1["Y"].str.replace("_km2","", regex=False).str.upper()
    tab1 = tab1.rename(columns={
        "Y": "Залежна змінна (Y)",
        "sample": "Вибірка",
        "coef": "β",
        "se": "SE(β)",
        "t": "t",
        "p": "p",
        "beta_std": "β (стандартиз.)",
        "R2": "R²(within)",
        "nobs": "n",
        "ngroups": "N_ТГ",
        "iqr_effect_abs": "Ефект IQR (натр.од.)",
        "iqr_effect_pct_median": "Ефект IQR (% до медіани Y)"
    })
    add_table_from_df(doc, tab1, "Табл. 2.2.1. Y ∈ {W, AIR, DW, MSW} на TN(t-1) (двовимірні FE; кластер-SE за ТГ)")
    p = doc.add_paragraph("Примітки: оцінки виконано на нормованих індикаторах (на км²). ")
    p.add_run("«Вибірка = no_heavy» — без Бурштинської, Калуської та Ямницької громад. ").italic = True
    p.add_run("Ефект IQR — зміна Y за переходу TN(t-1) від 25-го до 75-го перцентиля. ").italic = True
    doc.add_paragraph()

    rev1 = rev_df[["X", "sample", "coef", "se", "t", "p", "nobs"]].rename(columns={
        "X": "Предиктор (лаг, t-1)",
        "sample": "Вибірка",
        "coef": "γ",
        "se": "SE(γ)",
        "t": "t",
        "p": "p",
        "nobs": "n"
    })
    rev1["Предиктор (лаг, t-1)"] = rev1["Предиктор (лаг, t-1)"].str.replace("_km2_lag1","(t-1)", regex=False)\

```

```

        .str.replace("_km2","", regex=False)\
        .str.upper()

add_table_from_df(doc, rev1, "Табл. 2.2.2. TN на Y(t-1) (двовимірні FE; кластер-SE за ТГ)")
p2 = doc.add_paragraph("Примітки: статистично значущих ефектів не виявлено (p ≥ 0.14 у всіх специфікаціях.); p2.italic =
True

# Insert figures if exist
figs = [
    ("Рис. 2.2.1. Ефект IQR (бар-чарт)", os.path.join(BASE,"IQR_effects_bar.png")),
    ("Рис. 2.2.2. Forest plot β з 95% ДІ", os.path.join(BASE,"forest_betas.png")),
    ("Рис. 2.2.3. Caterpillar α_i (W_km2)", os.path.join(BASE,"caterpillar_W_alphas.png")),
    ("Рис. 2.2.4. FWL: W_km2~TN_lag1 (частк.залишки)", os.path.join(BASE,"fwl_W_scatter.png")),
    ("Рис. 2.2.5. Observed vs Fitted (W_km2)", os.path.join(BASE,"fit_vs_obs_W.png"))
]
for caption, path in figs:
    if os.path.exists(path):
        doc.add_paragraph()
        p = doc.add_paragraph(caption); p.alignment = WD_ALIGN_PARAGRAPH.CENTER
        doc.add_picture(path, width=Inches(6.2))

doc.save(out_docx)

# ----- Run pipeline -----
def main():
    panel = build_panel()
    panel.to_csv(os.path.join(BASE,"panel_km2_2019_2024.csv"), index=False, encoding="utf-8-sig")

    rows=[]; stats_rows=[]; effects={}
    for Y in ["W_km2","AIR_km2","DW_km2","MSW_km2"]:
        s,_ = fe_ols(Y, ["TN_km2_lag1"], panel);
        if s: s.update({"Y":Y,"sample":"full"}); rows.append(s); st=model_stats(Y,"TN_km2_lag1",panel);
st.update({"Y":Y,"sample":"full"}); stats_rows.append(st)
        ph = panel.loc[~panel["heavy"]].copy()
        s,_ = fe_ols(Y, ["TN_km2_lag1"], ph);
        if s: s.update({"Y":Y,"sample":"no_heavy"}); rows.append(s); st=model_stats(Y,"TN_km2_lag1",ph);
st.update({"Y":Y,"sample":"no_heavy"}); stats_rows.append(st)
        if Y in ["W_km2","DW_km2"]:
            effects[(Y,"full")] = iqr_effect(Y,"TN_km2_lag1",panel)
            effects[(Y,"no_heavy")] = iqr_effect(Y,"TN_km2_lag1",ph)

    res_df=pd.DataFrame(rows)
    stats_df=pd.DataFrame(stats_rows)
    tab = res_df.merge(stats_df, on=["Y","sample"], how="left")
    tab["iqr_effect_abs"]=np.nan; tab["iqr_effect_pct_median"]=np.nan
    for (Y,s),(ea,ep) in effects.items():
        tab.loc[(tab["Y"]==Y)&(tab["sample"]==s),"iqr_effect_abs"]=ea
        tab.loc[(tab["Y"]==Y)&(tab["sample"]==s),"iqr_effect_pct_median"]=ep

# Reverse direction
panel_rev=panel.copy()
for Y in ["W_km2","AIR_km2","DW_km2","MSW_km2"]:
    panel_rev[f"{Y}_lag1"]=panel_rev.groupby("HKATOTTG")[Y].shift(1)
rev_rows=[]
for Y in ["W_km2","AIR_km2","DW_km2","MSW_km2"]:
    s,_=fe_ols("TN_km2",[f"{Y}_lag1"],panel_rev);
    if s: s.update({"X":f"{Y}_lag1","sample":"full"}); rev_rows.append(s)
    pr=panel_rev.loc[~panel_rev["heavy"]].copy()
    s,_=fe_ols("TN_km2",[f"{Y}_lag1"],pr);
    if s: s.update({"X":f"{Y}_lag1","sample":"no_heavy"}); rev_rows.append(s)
rev_df=pd.DataFrame(rev_rows)

# Save CSVs

```

```

res_df.to_csv(os.path.join(BASE,"fe_panel_Y_on_lagTN_2019_2024.csv"), index=False, encoding="utf-8-sig")
rev_df.to_csv(os.path.join(BASE,"fe_panel_TN_on_lagY_2019_2024.csv"), index=False, encoding="utf-8-sig")
stats_df.to_csv(os.path.join(BASE,"fe_panel_model_stats_2019_2024.csv"), index=False, encoding="utf-8-sig")
tab.to_csv(os.path.join(BASE,"fe_panel_summary_table_2019_2024.csv"), index=False, encoding="utf-8-sig")

# ----- Visualizations -----
# (1) IQR bar (already known)
eff = tab[["Y", "sample", "iqr_effect_pct_median"]].dropna().copy()
if not eff.empty:
    eff["label"] = eff["Y"].str.replace("_ km2", "", regex=False).str.upper() + " (" + eff["sample"].map({"full": "повна", "no_heavy": "без важковаговиків"}) + ")"
    plt.figure()
    plt.bar(eff["label"], eff["iqr_effect_pct_median"])
    plt.title("Ефект інтерквартильного зростання TN(t-1)\nна Y (% медіани відповідного Y)")
    plt.ylabel("% до медіани Y")
    plt.xticks(rotation=25, ha='right')
    plt.tight_layout(); plt.savefig(os.path.join(BASE, "IQR_effects_bar.png"), dpi=300, bbox_inches="tight"); plt.close()

# (2) Forest plot for betas with 95% CI
fdf = res_df.copy()
if not fdf.empty:
    fdf["Y"] = fdf["Y"].str.replace("_ km2", "", regex=False).str.upper()
    fdf["lower"] = fdf["coef"] - 1.96*fdf["se"]
    fdf["upper"] = fdf["coef"] + 1.96*fdf["se"]
    fdf["spec"] = fdf["Y"] + " | " + fdf["sample"].map({"full": "повна", "no_heavy": "без важк."})
    order = np.argsort(fdf["coef"].values)
    fdf = fdf.iloc[order]
    plt.figure(figsize=(7, max(3, 0.5*len(fdf))))
    y = np.arange(len(fdf))
    plt.hlines(y, fdf["lower"], fdf["upper"])
    plt.plot(fdf["coef"], y, 'o')
    plt.axvline(0, linestyle='--')
    plt.yticks(y, fdf["spec"])
    plt.xlabel("β (ефект TN(t-1))")
    plt.title("Оцінки β з 95% довірчими інтервалами")
    plt.tight_layout(); plt.savefig(os.path.join(BASE, "forest_betas.png"), dpi=300, bbox_inches="tight"); plt.close()

# (3) Caterpillar plot of unit FE (alphas) for W_km2
mdl, alphas, taus, beta = lsdv_two_way("W_km2", "TN_km2_lag1", panel)
if alphas is not None:
    adf = pd.DataFrame({"HKATOTTG": list(alphas.keys()), "alpha": list(alphas.values())})
    # attach names
    names = panel[["HKATOTTG", "name"]].drop_duplicates()
    adf = adf.merge(names, on="HKATOTTG", how="left")
    adf = adf.sort_values("alpha").reset_index(drop=True)
    plt.figure(figsize=(7, max(3, 0.25*len(adf))))
    y = np.arange(len(adf))
    plt.plot(adf["alpha"], y, 'o')
    plt.axvline(0, linestyle='--')
    plt.yticks(y, adf["name"])
    plt.xlabel("Оцінені фіксовані ефекти αi (центр.)")
    plt.title("Caterpillar: гетерогенність базових рівнів W_km2 між ТГ")
    plt.tight_layout(); plt.savefig(os.path.join(BASE, "caterpillar_W_alphas.png"), dpi=300, bbox_inches="tight"); plt.close()

# (4) FWL partial residuals for W_km2 ~ TN_lag1 (two-way demean)
d = panel[["HKATOTTG", "YEAR", "W_km2", "TN_km2_lag1"]].dropna().copy()
if not d.empty:
    # two-way demean (within transformation)
    d["W_i"] = d.groupby("HKATOTTG")["W_km2"].transform("mean")
    d["W_t"] = d.groupby("YEAR")["W_km2"].transform("mean")
    d["W_all"] = d["W_km2"].mean()
    Wy = d["W_km2"] - d["W_i"] - d["W_t"] + d["W_all"]

```

```

d["X_i"] = d.groupby("HKATOTTG")["TN_km2_lag1"].transform("mean")
d["X_t"] = d.groupby("YEAR")["TN_km2_lag1"].transform("mean")
d["X_all"] = d["TN_km2_lag1"].mean()
Wx = d["TN_km2_lag1"] - d["X_i"] - d["X_t"] + d["X_all"]

# Fit simple OLS on de-meaned to get line
mdl = sm.OLS(Wy.values, sm.add_constant(Wx.values)).fit()
xv = np.linspace(Wx.min(), Wx.max(), 100)
yv = mdl.params[0] + mdl.params[1]*xv
plt.figure()
plt.scatter(Wx, Wy, s=12, alpha=0.7)
plt.plot(xv, yv)
plt.title("FWL: частковий зв'язок W_km2 ~ TN(t-1) після вилучення FE")
plt.xlabel("TN_km2_lag1 (двовимірно центровано)")
plt.ylabel("W_km2 (двовимірно центровано)")
plt.tight_layout(); plt.savefig(os.path.join(BASE, "fwl_W_scatter.png"), dpi=300, bbox_inches="tight"); plt.close()

# (5) Observed vs fitted for W_km2 (two-way FE)
s, m = fe_ols("W_km2", ["TN_km2_lag1"], panel)
if m is not None:
    # reconstruct fitted on the design used inside fe_ols
    d = panel[["W_km2", "TN_km2_lag1", "HKATOTTG", "YEAR"]].dropna().copy()
    y = d["W_km2"].values
    X = [np.ones(len(d)), d["TN_km2_lag1"].values]
    TG = pd.get_dummies(pd.Categorical(d["HKATOTTG"]), drop_first=True)
    TT = pd.get_dummies(pd.Categorical(d["YEAR"]), drop_first=True)
    X = np.column_stack([*X, TG.values, TT.values])
    yhat = m.predict(X)
    plt.figure()
    plt.scatter(yhat, y, s=12, alpha=0.7)
    lims = [min(y.min(), yhat.min()), max(y.max(), yhat.max())]
    plt.plot(lims, lims)
    plt.xlabel("Підігнані значення")
    plt.ylabel("Спостереження")
    plt.title("Observed vs Fitted: W_km2 (двовимірні FE)")
    plt.tight_layout(); plt.savefig(os.path.join(BASE, "fit_vs_obs_W.png"), dpi=300, bbox_inches="tight"); plt.close()

# ----- DOCX with tables + figures -----
save_tables_and_viz(panel, tab, rev_df, os.path.join(BASE, "FE_results_tables_and_viz.docx"))

if __name__ == "__main__":
    main()

```

Мікроситуаційні вимоги щодо встановлення обладнання (датчиків LCS)

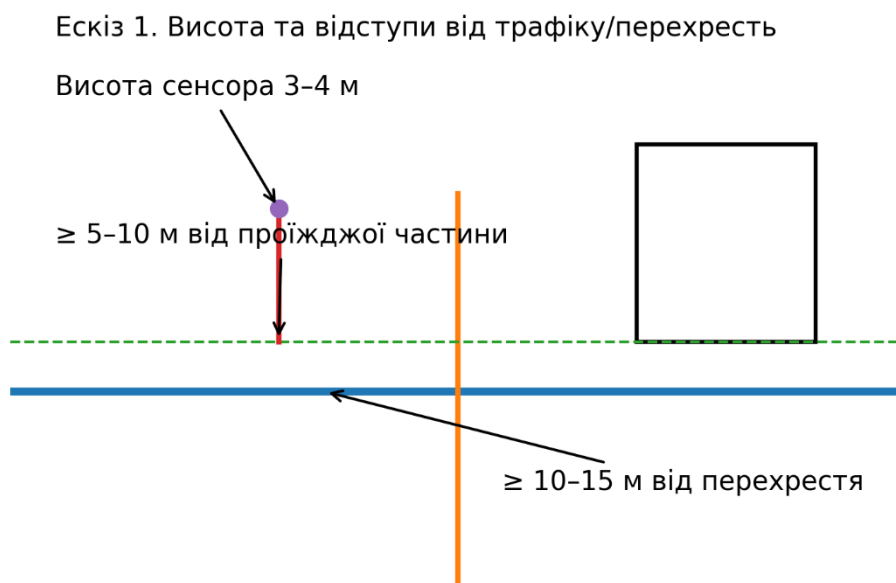


Рис.1 Ескіз розміщення датчику LCS - висота та відступи від трафіку/перехрестя

Датчик встановлюється на висоті 3–4 м від рівня землі з вільним підвітрям. Горизонтальний відступ від проїжджої частини — не менше 5–10 м, щоб уникнути локальних піків від вихлопів та турбулентності від автотранспорту. Від перехрестя та зон розгону/гальмування — не ближче 10–15 м, оскільки тут формується несталий аеродинамічний режим і різкі сплески забруднень. У місцях з інтенсивною забудовою бажаний винос датчика від фасаду (кронштейн/щогла) для забезпечення рівномірного обдуву.

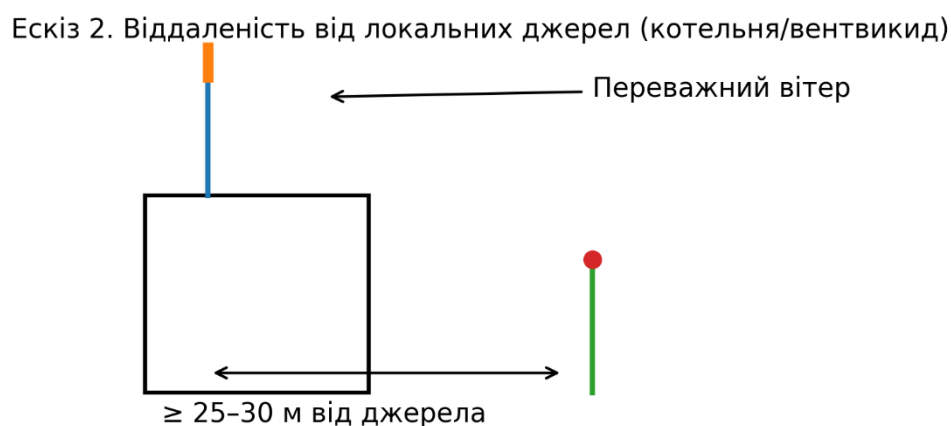


Рис.2 Ескіз розміщення датчику LCS - віддаленість від локальних джерел (котельня/вентвикид).

Датчик розміщують поза зоною прямого факела від джерела — щонайменше на 25–30 м у плані (або поза аеродинамічним «шлейфом» будівлі), з орієнтацією переважно поперек панівного вітру. Таке позиціонування мінімізує систематичне зміщення показів від одиничного джерела та робить вимірювання репрезентативними для території. Якщо джерело працює епізодично, відстань зберігають сталою впродовж року; для групи вентвикидів обирають точку з найменшим сумарним впливом (за «розою вітрів»).

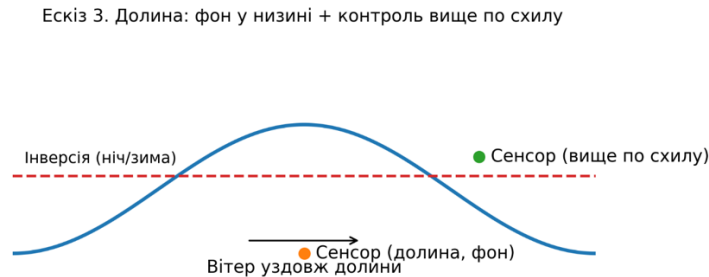


Рис.3 Ескіз розміщення датчику LCS в залежності від рельєфу місцевості

Для долинних локацій доцільна пара точок: (і) «долинний фон» у зоні турпотуку та нічних/зимових інверсій (вздовж осі долини), (іі) контрольна точка на схилі вище типової висоти інверсійного шару (орієнтовно на 50–150 м вище долинного дна, уточнюється за локальними метеоданими). Така комбінація дозволяє відокремити ефекти акумуляції забруднень під час штилю/інверсій від регіонального фону та оцінити перенесення уздовж долини. Долинну точку розміщують поза безпосереднім впливом доріг і локальних димарів, але в репрезентативному місці для туристів.

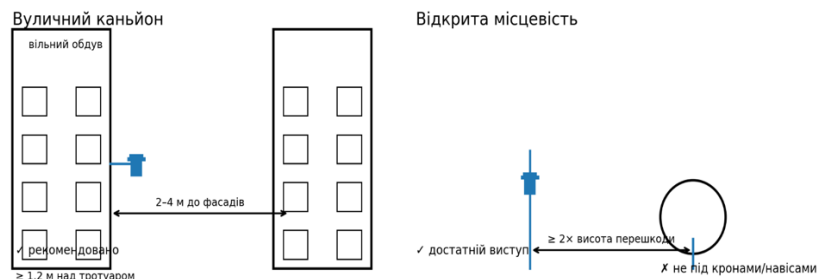


Рис.4 Ескіз розміщення датчику LCS в залежності від наявності об'єктів будови на місцевості

У «каньйоні» датчик встановлюють на кронштейні 2–4 м над тротуаром із вільним обдувом і відступом від фасадів; у відкритій локації — на щоглі з винесенням щонайменше на $2 \times$ висоту найближчої перешкоди; уникати крон дерев та навісів.

Промисловий фон

Придорожня зона

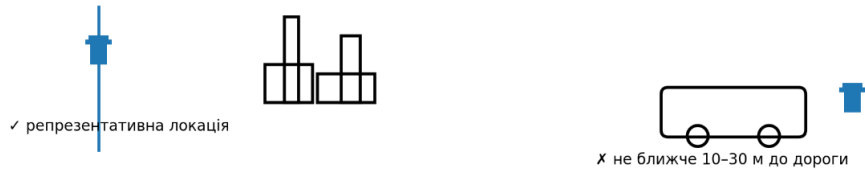


Рис.5 Ескіз розміщення датчику LCS в залежності від наявності об'єктів промисловості або розміщення в придорожній зоні

Фоновий промисловий пункт розміщується поза безпосередніми струменями викидів, але в межах репрезентативного «поля впливу»; придорожні точки для туристичних задач уникати (не ближче 10–30 м до проїзду), аби не змішувати транспортні піки з курортними епізодами.

Співрозміщення з референсом — правильно

Співрозміщення — неправильно



Рис.6 Ескіз розміщення датчику LCS при співрозміщенні з референсом
 Нормальне співрозміщення: LCS на тій самій висоті забору (2–4 м) і в тій самій експозиції вітру, що й референсний пост; недопустимо кріпити LCS усередині приміщення/під навісом біля поста — різна експозиція дає систематичне зміщення.

Уникати екранування — правильно

Уникати екранування — неправильно



Рис.7 Ескіз розміщення датчику LCS -рекомендації щодо екранування
 Уникати екранування. Правильно — винести датчик від крон дерев і стін (орієнтир: відстань не менша за подвійну висоту крони або чіткий повітряний

коридор); неправильно — монтувати впритул до масивних поверхонь або під щільними кронами.

Монтаж і живлення LCS

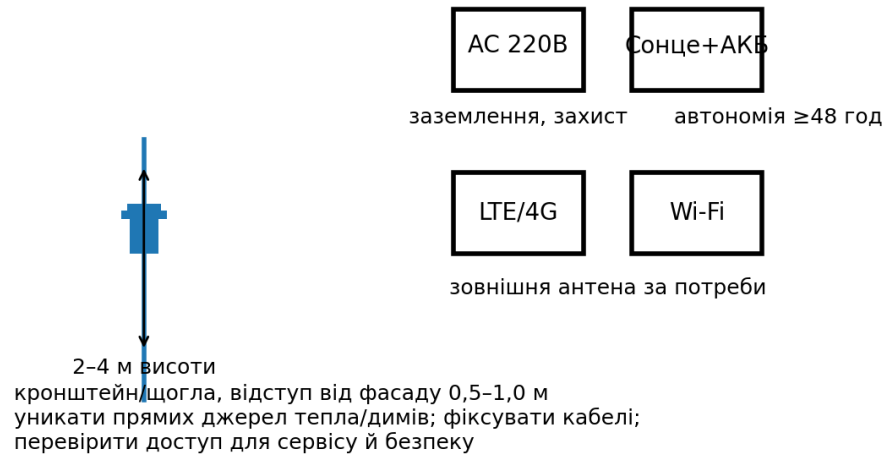


Рис.8 Рекомендації щодо монтажу і живлення датчику LCS

Монтаж і живлення. Висота 2–4 м на щоглі/кронштейні з відступом 0,5–1,0 м від фасаду; живлення: AC 220 В із заземленням/захистом або сонячна панель + АКБ (автономія ≥ 48 год); зв'язок LTE/4G або Wi-Fi (за потреби — зовнішня антена); доступність для сервісу та безпечна траса кабелів обов'язкові.

Первинні дані для побудови хороплетів

TG	Count	Area km2	Density
Поляницька сільська громада	819	341,47	2,40
Івано-Франківська міська громада	674	264,42	2,55
Ворохтянська селищна громада	320	249,83	1,28
Яремчанська міська громада	306	271,22	1,13
Верховинська селищна громада	154	407,92	0,38
Зеленська сільська громада	140	487,79	0,29
Перегінська селищна громада	133	726,34	0,18
Солотвинська селищна громада	107	377,45	0,28
Вигодська селищна громада	104	750,24	0,14
Косівська міська громада	99	337,85	0,29
Калуська міська громада	98	266,01	0,37
Коломийська міська громада	84	172,87	0,49
Пасічнянська сільська громада	78	420,34	0,19
Надвірнянська міська громада	58	191,05	0,30
Болехівська міська громада	44	287,50	0,15
Городенківська міська громада	42	616,65	0,07
Рогатинська міська громада	38	633,55	0,06
Богородчанська селищна громада	31	256,24	0,12
Снятинська міська громада	29	365,66	0,08
Долинська міська громада	27	352,16	0,08
Галицька міська громада	23	244,78	0,09
Кутська селищна громада	23	113,48	0,20
Космацька сільська громада	23	114,22	0,20
Делятинська селищна громада	21	207,24	0,10
Печеніжинська селищна громада	19	184,81	0,10
Бурштинська міська громада	17	202,11	0,08
Тисменицька міська громада	17	246,70	0,07
Брошнів-Осадська селищна громада	16	88,62	0,18
Рожнятівська селищна громада	16	179,40	0,09
Білоберізька сільська громада	15	354,61	0,04
Ямницька сільська громада	15	128,19	0,12
Тлумацька міська громада	15	365,85	0,04
Ланчинська селищна громада	14	84,64	0,17
Угринівська сільська громада	13	17,73	0,73
Спаська сільська громада	8	227,73	0,04
Дубовецька сільська громада	8	172,55	0,05
Лисецька селищна громада	8	81,44	0,10
Рожнівська сільська громада	8	106,03	0,08
Єзупільська селищна громада	7	86,38	0,08
Чернелицька селищна громада	6	130,00	0,05
Олешанська сільська громада	6	156,49	0,04
Яблунівська селищна громада	6	206,87	0,03
Гвіздецька селищна громада	6	65,80	0,09

Коршівська сільська громада	6	131,15	0,05
Верхнянська сільська громада	5	140,08	0,04
Матеївецька сільська громада	5	104,30	0,05
Отинійська селищна громада	5	212,38	0,02
Більшівцівська селищна громада	4	152,66	0,03
Переріслянська сільська громада	4	96,67	0,04
Новицька сільська громада	4	141,16	0,03
Заболотівська селищна громада	4	214,08	0,02
Загвіздянська сільська громада	4	31,37	0,13
Букачівська селищна громада	3	139,53	0,02
Дзвиняцька сільська громада	3	80,14	0,04
Нижньовербізька сільська громада	3	97,54	0,03
Дубівська сільська громада	2	92,06	0,02
Старобогородчанська сільська громада	2	84,22	0,02
Обертинська селищна громада	2	161,37	0,01
Витвицька сільська громада	1	154,69	0,01
Войнилівська селищна громада	1	163,65	0,01
П'ядицька сільська громада	1	126,47	0,01
Підгайчиківська сільська громада	0	58,44	0,00

**Акт впровадження результатів дисертаційного дослідження у
навчальний процес**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу,
д.т.н., професор

Олександр КОНДРАТ
“ 14 ” 2026 р.

АКТ

Впровадження результатів дисертаційного дослідження в освітній процес

Даним актом підтверджуємо, що результати дисертаційної роботи «Екологічне оцінювання туристичного навантаження громад Івано-Франківської області» аспірантки спеціальності 101 – Екологія Смик Ірини Євгенівни, зокрема методики екологічного оцінювання антропогенного навантаження на територіальні громади, просторово-статистичного аналізу впливу туристичної діяльності на водні ресурси, атмосферне повітря та утворення твердих побутових відходів, а також методи обробки та інтерпретації екологічних даних, впроваджені в освітній процес Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисципліни «Методологія екологічних досліджень» (тема ЗМ 1.6 Методи обробки геоекологічної інформації).

Завідувач кафедри екології,
к.т.н., доцент



Марія ОРФАНОВА

Гарант ОНП «Екологія»
Професор кафедри екології,
д.т.н., професор



Олег МАНДРИК

Акт впровадження результатів дисертаційної роботи у Карпатському НПП

<p>Погоджено</p> <p>Проректор з наукової роботи д.т.н., проф. Олександр КОНДРАТ</p> <p>« 22 » січня 2026 р.</p> <p style="text-align: center;">М.П.</p>	<p>Затверджую</p> <p>Заступник директора Карпатського національного природного парку к.б.н. Олександр КИСЕЛЮК</p> <p>« 22 » січня 2026 р.</p> <p style="text-align: center;">М.П.</p>
--	--

А К Т про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему «Екологічне оцінювання туристичного навантаження громад Івано-Франківської області»,

що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101- Екологія

виконаної Смик Іриною Євгенівною

(ПБ здобувача)

впроваджені у Карпатському національному природному парку

1. Вид впроваджуваних результатів:

Методичні підходи до екологічного оцінювання туристичного навантаження на територіальні громади Івано-Франківської області; геопросторове моделювання впливу туризму на компоненти довкілля; рекомендації щодо оптимізації мережі моніторингу якості повітря в туристичних кластерах Поляниця – Яремче – Ворохта із застосуванням низьковартісних сенсорів та еталонних постів спостереження.

2. Новизна отриманих результатів:

Обґрунтовано інтеграцію показників туристичного навантаження з екологічними індикаторами стану атмосферного повітря на основі просторово-кластерного аналізу; запропоновано підхід до оптимізації розміщення постів моніторингу для гірських туристичних регіонів, адаптований до орографічних та кліматичних особливостей Карпатського національного природного парку.

3. Практичне впровадження/використання результатів:

Використання одержаних рекомендацій під час планування та вдосконалення системи моніторингу якості атмосферного повітря на рекреаційних територіях Карпатського національного природного парку; застосування результатів для обґрунтування розміщення низьковартісних сенсорів, підготовки проектних пропозицій щодо розгортання мережі екологічного моніторингу у зонах інтенсивного туристичного навантаження.

4. Значущість отриманих результатів:

Забезпечено науково обґрунтовану основу для підвищення рівня екологічної безпеки туризму в Івано-Франківській області; створено інструментарій для оцінювання ризиків, пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря у періоди пікового туристичного навантаження, а також для підтримки управлінських рішень щодо сталого використання природно-рекреаційного потенціалу Карпатського національного природного парку.

5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційні дослідження пов'язані з науковими програмами та планами Вимірювальної лабораторії аналітичного контролю та моніторингу Карпатського національного природного парку, що стосуються оцінювання екологічного стану довкілля й впливу туристичного навантаження на природні екосистеми Карпатського регіону, а також узгоджуються зі завданнями державної екологічної політики України на період до 2030 року.

Від Івано-Франківського
національного технічного
університету нафти і газу

Директор НДІ

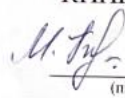


(підпис) (ПІБ)

«27» січня 2026 р.

Від організації

Завідувач Вимірювальної
лабораторії аналітичного
контролю та моніторингу
КНПІ к.т.н., ст.дослідник



Марта КОРЧЕМЛЮК
(підпис) (ПІБ)

«28» січня 2026 р.

Здобувач



(підпис) (ПІБ)
«27» січня 2026 р.