

УДК: 332:330.31:502.131.1]:004.9-047.44  
DOI <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-4-9>

**Ольга КАРАЇМ**

кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0002-1722-4110

**Лариса ЧЕРЧИК**

доктор економічних наук, професор, професор кафедри менеджменту, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0002-3901-216X

**Сергій СУПРУНОВИЧ**

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри органічної та фармацевтичної хімії, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0003-0162-8863

**Володимир КАРАЇМ**

аспірант, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі, 13, м. Луцьк, Волинська обл., Україна, 43025

**ORCID:** 0000-0003-4053-8019

**Бібліографічний опис статті:** Караїм, О., Черчик, Л., Супрунович, С., Караїм, В. (2024). Методичні підходи до інформаційного забезпечення та оцінювання сталого розвитку регіону. *Проблеми хімії та сталого розвитку*, 4, 66–76, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-4-9>

## МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНУ

**Мета.** Розвиток методичних підходів до інформаційного забезпечення й оцінювання сталого розвитку регіону та їх апробація на прикладі екологічного стану Волинської області.

**Методи.** Методологічна основа оцінки сталого розвитку базується на системному підході, основою якого є взаємозв'язок показників, які характеризують стан соціального, економічного та екологічного розвитку регіону. Апробація методики здійснюється на основі використання набору ключових показників екологічної підсистеми.

Методика оцінки передбачає три рівні агрегування показників: перший рівень включає базові показники, що відображають стан екологічної підсистеми регіону на основі статистичних даних; другий рівень охоплює агреговані показники, розраховані на основі кількох базових, які дають змогу оцінити стан споріднених груп (макропоказників) підсистеми; третій рівень представлений інтегрованими показниками, сформованими на основі агрегованих, що дозволяє комплексно оцінити стан екологічної підсистеми регіону.

Для аналізу побудовано регресійні моделі, що відображають залежності між змінами показників у часі. Коефіцієнт детермінації  $R^2$ , отриманий для кожного рівняння, використаний як критерій оцінки надійності моделі та її здатності пояснювати варіацію показників.

**Результати.** У статті на основі огляду та узагальнення напрацьованих вітчизняних та іноземних вчених набули подальшого розвитку методичні підходи до оцінки сталого розвитку регіону, які передбачають поєднання системного та ієрархічного підходів та використання багаторівневої структури агрегування базових показників.

Здійснено апробацію методики оцінки сталого розвитку регіону на прикладі екологічного стану Волинської області. До агрегованих показників екологічної підсистеми віднесено: показник стану атмосферного повітря; земля, природно-заповідний фонд; показник використання водних ресурсів; показник якісного стану питної води; показник поводження з відходами. Наведено результати моделювання динаміки показників екологічного розвитку Волинської області, включаючи рівняння регресії та значення коефіцієнта  $R^2$ . Зокрема, розглянуто 23 показники. Результат демонструє середні та високі рівні  $R^2$ , що дало змогу оцінити відповідну придатність моделей для прогнозування.

За результатами розрахунків, після приведення базових показників до нормованого виду, здійснення їх агрегування в інтегровані показники, стан за екологічним показником  $I_1$  розвитку Волинської області оцінюється як задовільний, маючи значення 0,59.

**Висновки.** Проведений регресійний аналіз дозволив виявити ключові закономірності та тенденції змін у екологічній підсистемі Волинської області за період 2000–2020 років. Зокрема, встановлено, що спостерігається поступове покращення якісного стану атмосферного повітря та водних ресурсів, проте стан земельних ресурсів і управління відходами залишається проблемним. Отримані залежності підтверджуються високими значеннями коефіцієнтів детермінації регресійних моделей, що свідчить про надійність результатів і можливість їх використання для прогнозування розвитку регіону. Інтегрований показник екологічного розвитку Волинської області дає змогу оцінити стан регіону як задовільний. Ці результати є важливими для формування стратегій сталого розвитку Волинської області, оскільки дозволяють виділити ключові напрями для подальших інтервенцій, спрямованих на збалансованість соціального, економічного та екологічного компонентів.

**Ключові слова:** сталий розвиток, оцінка сталого розвитку, екологічний стан, регіон, Волинська область, методичні підходи, інформаційні технології.

### **Olha KARAIM**

*Candidate of Economics Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology and Protection of Environment, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID:** 0000-0002-1722-4110

### **Larysa CHERCHYK**

*Doctor of Economics Sciences, Professor, Professor at the Department of Management, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID:** 0000-0002-3901-216X

### **Serhiy SUPRUNOVICH**

*Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Organic and Pharmaceutical Chemistry, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID:** 0000-0003-0162-8863

### **Volodymyr KARAIM**

*Post-Graduate Student, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Volya ave., Lutsk, Volyn region, Ukraine, 43025*

**ORCID:** 0000-0003-4053-8019

**To cite this article:** Karaim, O., Cherchyk, L., Suprunovich, S., Karaim, V. (2024). Methodychni pidkhody do informatsiinoho zabezpechennia ta otsiniuvannia staloho rozvytku rehionu [Methodical Approaches to Information Support and Assessment of Regional Sustainable Development]. *Problems of Chemistry and Sustainable Development*, 4, 66–76, doi: <https://doi.org/10.32782/pcsd-2024-4-9>

## **METHODICAL APPROACHES TO INFORMATION SUPPORT AND ASSESSMENT OF REGIONAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**Objective.** To develop methodological approaches to information support and assessment of sustainable development in the region and to test them using the example of the ecological state of the Volyn region.

**Methods.** The methodological foundation of sustainable development assessment is based on a systematic approach, emphasizing the interconnection of indicators characterizing the social, economic, and ecological development of a region. The testing of the methodology employs a set of key indicators for the ecological subsystem.

The assessment methodology encompasses three levels of indicator aggregation: basic indicators reflecting the state of the ecological subsystem of the region based on statistical data; aggregated indicators derived from multiple basic indicators, enabling the assessment of related groups (macro-indicators) within the subsystem; integrated indicators formed from aggregated indicators, allowing for a comprehensive evaluation of the ecological subsystem's condition.

*Regression models were developed to analyze the dependencies between indicator changes over time. The coefficient of determination ( $R^2$ ) was used as a criterion for evaluating the model's reliability and its ability to explain indicator variation.*

**Results.** *The article advances methodical approaches for assessing regional sustainable development by integrating systematic and hierarchical approaches with a multi-level structure for aggregating basic indicators. This development is based on a review and synthesis of the work of domestic and international scholars.*

*The methodology for sustainable development assessment was tested using the ecological state of Volyn region. Aggregated indicators of the ecological subsystem include: air quality; land and nature reserves; water resource utilization; drinking water quality; and waste management. Results of ecological development modeling for Volyn region are presented, including regression equations and  $R^2$  values, based on the analysis of 23 indicators. The results demonstrate medium to high levels of the coefficient of determination, validating the models' suitability for forecasting.*

*Calculations show that after normalizing the basic indicators and aggregating them into integrated indicators, the ecological development index ( $I_e$ ) for Volyn region is evaluated as satisfactory, with a value of 0.59.*

**Conclusions.** *The regression analysis identified key patterns and trends in the ecological subsystem of Volyn region during 2000–2020. Notably, there is a gradual improvement in air and water quality, while land resource conditions and waste management remain challenging. The high  $R^2$  values of the regression models confirm the reliability of the results and their applicability for regional development forecasting.*

*The integrated ecological development indicator for Volyn region allows its state to be assessed as satisfactory. These findings are significant for forming sustainable development strategies for Volyn Region, highlighting key areas for interventions aimed at balancing social, economic, and ecological components.*

**Key words:** *sustainable development, sustainable development assessment, ecological state, region, Volyn region, methodical approaches, information technologies.*

**Актуальність проблеми.** Оцінювання території регіону за показниками сталого розвитку є надзвичайно актуальним у контексті сучасних екологічних, соціальних та економічних викликів. Волинська область володіє унікальними природними ресурсами, стратегічно вигідним географічним положенням і значним потенціалом для забезпечення сталого розвитку. Водночас антропогенні впливи, кліматичні зміни та нерівномірність соціально-економічного розвитку окремих районів створюють загрози для екологічної стійкості та рівня життя місцевого населення.

Сталий розвиток передбачає гармонійне поєднання економічного зростання, соціальної стабільності та збереження природних ресурсів для майбутніх поколінь. Аналіз стану Волинської області через призму цих показників дозволяє не лише оцінити поточний стан, але й визначити основні напрями для формування регіональної політики, яка враховує принципи сталого розвитку.

Тому дослідження оцінки стану території Волинської області за показниками сталого розвитку та зокрема апробація екологічної підсистеми є своєчасною, науково значущою і має практичне значення для сталого розвитку регіону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішенню проблем сталого розвитку та зокрема оцінці розвитку територій за показниками сталого розвитку присвятили свої роботи низка українських та іноземних вчених. Так,

аспекти управління сталим просторовим розвитком досліджено (Войчук, 2018). Стан агро-сфери сільських населених пунктів за показниками сталого розвитку оцінено (Клименко, 2009). Практичні основи розробки стратегій сталого місцевого розвитку представлено (Клименко, 2013; Боголюбов, 2013; Брежицька, 2013). Оцінку стану окремих територій за показниками сталого розвитку здійснили (Люльчик, 2009), (Прищепа, 2018), (Хомюк, 2019). Особливості відновлення сталого розвитку регіонів та громад України подано у дослідженнях (Караїм, 2023). Результати вагомих досліджень оцінки сталого розвитку територій, як на регіональному так і глобальному рівнях представлено у працях іноземних вчених (Pollesch, 2016; Lafortune, 2018; Casini, 2019; Papadimitriou, 2019; Wang, 2020; Zeug, 2021).

**Метою роботи** є розвиток методичних підходів до інформаційного забезпечення й оцінювання сталого розвитку регіону та їх апробація на прикладі екологічного стану Волинської області.

**Методологія.** Інформаційну базу дослідження становили: законодавчі та нормативні акти з питань сталого розвитку, матеріали Державної служби статистики України, науково-аналітичні статті, посібники, монографії, періодичні видання та ін.

У процесі роботи використовувалися: методи узагальнення та систематизації при опрацюванні матеріалів дослідження, аналізу

та синтезу – при вивченні методологічних підходів, а також базових показників, порівняльний – при їх аналізі, абстрактно-логічний – при обґрунтуванні теоретичних узагальнень і висновків, послідовний метод при викладенні основного матеріалу.

Загалом оцінка стану соціо-економіко-екологічної системи Волинської області базується на використанні системи базових показників, об'єднаних у однорідні групи (соціальну, економічну, екологічну) (Шапара, 2002; Саєнко, 2004; Клименко, 2009; Люльчик, 2009; Клименко, 2013; Войчук, 2018; Клименко, 2018; Клименко, 2024). У статті здійснено апробацію визначення екологічного стану (екологічної підсистеми) Волинської області, зокрема інтегрованого показника екологічного розвитку ( $I_1$ ).

Початковим етапом у методиці є підбір базових показників (індикаторів), за результатами статистичних досліджень та зведення їх у блоки агрегованих показників.

Щодо впливу на стан екологічної підсистеми виділяють два типи індикаторів: 1) зростання кількісних ознак, яких покращує стан підсистеми; 2) зменшення негативних ознак, який також покращує стан. Перші індикатори є позитивними (стабілізатори системи), а другі негативними (дестабілізатори системи) (Клименко, 2013; Войчук, 2018; Клименко, 2018).

Необхідно зауважити, що кожен із базових показників має свою природу і насамперед максимальні та мінімальні межі коливань:  $N_{\max}$  та  $N_{\min}$ , за які приймалися відповідно найбільше та найменше значення базового показника за обраний проміжок часу. Для того, щоб мати можливість порівнювати вплив показників різної розмірності доречно привести ці показники до єдиного знаменника. Для цього проводиться цільова нормалізація показників – вводиться нова змінна  $X_i$ , котра може набувати значень від нуля до одиниці (Pollesch, 2016). Більші значення  $X_i$  означають кращий екологічний стан, менші – гірший.

Для позитивних індикаторів зростання їх кількісних значень сприяє підвищенню значення нормалізованої оцінки:

$$X_i = \frac{N_i - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}}, \quad (1)$$

де  $N_{\min}$  – мінімальне значення  $i$ -го показника, а  $N_{\max}$  – максимальне значення  $i$ -го показника.

Для негативних індикаторів навпаки, зменшення їх кількісних значень сприяє підвищенню значення нормалізованої оцінки:

$$X_i = \frac{N_{\max} - N_i}{N_{\max} - N_{\min}}, \quad (2)$$

де  $N_{\min}$  – мінімальне значення  $i$ -го показника, а  $N_{\max}$  – максимальне значення  $i$ -го показника.

В основу алгоритму розрахунку екологічного розвитку регіону покладена процедура поступового «згортання» значень індикаторів нижнього та проміжних рівнів (Клименко, 2018).

При цьому «згортання» базових показників у агреговані, агрегованих у інтегровані та інтегрованих у подальшому в інтегральні показники здійснено за формулою середнього арифметичного (Войчук, 2018).

Таким чином, дана методика базується на агрегуванні показників трьох рівнів: перший – забезпечує оцінку статистичних інформаційних базових показників (БП), які характеризують стан екологічної підсистеми регіону; другий – агреговані показники (АП), які розраховуються з декількох базових і характеризують стан споріднених групових (макропоказників) екологічної підсистеми; третій – інтегровані показники (ІП), які розраховуються на базі низки агрегованих показників і характеризують стан екологічної підсистеми регіону (Клименко, 2013; Клименко, 2018).

Для кількісної та якісної оцінки стану розвитку території застосовано уніфіковану вимірну шкалу, розроблену Інститутом проблем природокористування та екології НАН України: 1,0–0,8 – еталонний стан; 0,8–0,6 – сприятливий; 0,6–0,4 – задовільний; 0,4–0,2 – загрозливий; 0,2–0 – критичний (Клименко, 2013; Клименко, 2018).

Зміну показників, які характеризують стан екологічної підсистеми Волинської області, досліджували із використанням трендових моделей у вигляді поліномів четвертого порядку  $y = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + a_3 \cdot x^3 + a_4 \cdot x^4$  побудованих на основі методу найменших квадратів. Розрахунок проводився із використанням програми Microsoft Excel. Якісне оцінювання зв'язку зміни показника в часі виконували з використанням коефіцієнта детермінації за шкалою Чеддона: 0,1–0,3 – незначний; 0,3–0,5 – помірний; 0,5–0,7 – істотний; 0,7–0,9 – високий; 0,9–0,99 – дуже високий; 1,0 – функціональний (Клименко, 2013; Клименко, 2018).

Одержані регресійні моделі можна рекомендувати до використання (короткостроковий прогноз) за умови, коли коефіцієнт детермінації  $R^2$  є достатньо високим і свідчить про значну частку варіації залежної змінної, пояснену незалежними змінними. Значення  $R^2$  яке перевищує 0,7, зазвичай вважається прийнятним для прогнозування, оскільки модель у такому випадку демонструє добру відповідність даним. Проте в окремих випадках, залежно від специфіки дослідження, допускається використання моделей із нижчим  $R^2$ , якщо вони мають високу практичну значущість та пояснюють ключові тенденції.

Крім того, слід враховувати, що короткостроковий прогноз є більш точним у стабільних умовах, коли зовнішні чинники мають незначний вплив на змінні. Якщо умови суттєво змінюються (екологічні катастрофи, кризи та ін.), точність прогнозу може знижуватися, що вимагає додаткового коригування моделі або її перегляду з урахуванням нових даних.

#### **Виклад основного матеріалу дослідження.**

Оцінюючи екологічний стан Волинської області проаналізовано наявні інформаційно-методологічні підходи (Шапара, 2002; Саєнко, 2004; Клименко, 2009; Люльчик, 2009; Клименко, 2013; Войчук, 2018; Клименко, 2018; Клименко, 2024). Основною відмінною особливістю у зазначених працях є використання при «згортанні» базових показників у агреговані, агрегованих у інтегровані та інтегрованих у інтегральні двох методів середніх значень: 1) методу простого середнього (середнє арифметичне) або 2) методу пропорційного середнього (середнє геометричне). У нашому дослідженні застосовано перший варіант.

У ході роботи нами здійснено аналіз низки показників, які визначають рівень навантаження на довкілля, за результатами якого вибрано 5 агрегованих показників екологічного розвитку, до яких віднесено: показник стану атмосферного повітря; земля, природно-заповідний фонд; показник використання водних ресурсів; показник якісного стану питної води; показник поводження з відходами (табл. 1).

Вибір зазначених показників екологічного стану пояснюється їх вагомістю, зокрема впливом на здоров'я людей та функціонування біорізноманіття. Стан здоров'я населення значною мірою залежить від дії численних чинників:

соціальних, медичних, біологічних, умов життя, а також якості атмосферного повітря, питної води, правильної утилізації відходів.

Забруднене повітря впливає на здоров'я як безпосередньо, викликаючи негайні загрози, так і опосередковано, спричиняючи поступові порушення функцій організму. Доведено прямий взаємозв'язок між рівнем забруднення атмосфери та поширеністю захворювань. Зокрема, підвищується ризик виникнення хронічних патологій, таких як атеросклероз, серцеві захворювання, рак легенів. Забруднення повітря також ослаблює імунітет, провокує хвороби органів дихання, включаючи бронхіт, пневмонію та респіраторні інфекції.

Аналіз динаміки екологічного стану Волинської області дозволяє виявити ключові тенденції та закономірності змін у різних підсистемах регіону протягом 2000–2020 років. Для аналізу за усіма базовими показниками були побудовані регресійні моделі, що відображають залежності між змінами показників і часом. Коефіцієнт детермінації  $R^2$ , отриманий для кожного рівняння, використаний як критерій оцінки надійності моделі та її здатності пояснювати варіацію показників.

З метою висвітлення результатів дослідження екологічного стану області представимо динаміку одного із базових показників – викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами (рис. 1).

Графік показує залежність кількості викидів (тис. тонн) від року, позначеного як  $x = \text{Рік} - 2000$  (з метою зменшення розрахункових помилок, характерних для методу найменших квадратів).

Загалом спостерігається тенденція до зменшення викидів із певними коливаннями, так як після досягнення мінімального рівня (4,7 тис. тонн у 2015 році) відбувається незначне зростання до 5,3 тис. тонн у 2019 році.

Що стосується основних точок, то: максимальні значення були на початку періоду (10,3 тис. тонн у 2000 році); мінімальні значення відслідковуємо у 15-му році (4,7 тис. тонн); після мінімуму спостерігається незначне зростання (5,3 тис. тонн у 2019 році).

Середнє значення викидів за цей період становить 7,28 тис. тонн.

Визначаючи швидкість змін, бачимо наскільки змінилися викиди за перші 15 років:  $\Delta y = 10,3 - 4,7 = 5,6$  тис. тонн.

## Базові показники екологічного стану Волинської області\*

Базові показники	Роки						$N_{\min}$	$N_{\max}$
	2000	2005	2010	2015	2019	2020		
<i>1. Показник стану атмосферного повітря</i>								
Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря – всього, тис. т,	42,3	50,4	57,2	42,8	36,7	40,2	36,7	57,2
Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, тис. т	10,3	10,1	8,2	4,7	5,3	5,1	4,7	10,3
Викиди забруднюючих речовин пересувними джерелами	32	40,3	49	38,1	31,4	35,1	31,4	49
Кількість викидів на душу населення, кг	40	48,3	55,2	41	35,4	39	35,4	55,2
Щільність викидів на 1 км кв території, т	2,1	2,5	2,8	2,1	1,9	2	1,9	2,8
<i>2. Земля. Природно-заповідний фонд</i>								
Площа сільськогоспо-дарських угідь, тис. га	1058,7	1054,1	1050,3	1047,6	1035,9	1048	1035,9	1058,7
Внесення мінеральних добрив, тис. т	10,5	14	13,4	27,7	50,2	65,4	10,5	65,4
Внесення органічних добрив, тис. т	1221	606	477	351	368	336	336	1221
Заготівля деревини, площа рубок тис. га	32,4	45,8	32,5	22,2	33,4	23,9	22,2	45,8
Обсяг заготовленої деревини, тис. м куб	1155,26	945,9	1029	1164,3	1421,4	1215,7	945,9	1421,4
Заповідники та природні національні парки, площа, тис. га	32,8	52	91,3	124,7	124,7	124,7	32,8	124,7
<i>3. Показник використання водних ресурсів</i>								
Забрано прісної води із поверхневих джерел, млн м куб.	64,2	23,8	40,4	20,3	14,1	5,9	5,9	64,2
Забрано прісної води із підземних джерел, млн м куб.	67,5	61,9	54	52,2	53,6	34,2	34,2	67,5
Скинуто у поверхневі водні об'єкти забруднених зворотних вод, млн м куб	34,9	0,8	3,6	0,3	0,5	0,4	0,3	34,9
Скинуто у поверхневі водні об'єкти нормативно очищених вод, млн м куб	5,4	28,9	20,7	24	20,5	23	5,4	28,9
<i>4. Показник якісного стану питної води</i>								
Використання свіжої води на питні та санітарно-гігієнічні потреби, млн м куб.	39	29	24,1	18,6	18,3	19,1	18,3	39
<i>5. Показник поводження з відходами</i>								
Утворено відходів, тис. т	642,55	642,55	633	638,9	668,1	630,2	630,2	668,1
Утилізовано відходів, тис. т	46,625	46,625	10	105,5	35,9	35,1	10	105,5
Передано для утилізації, тис. т	190,5	190,5	338	29,8	198,8	195,4	29,8	338
Спалено відходів, тис. т	23,975	23,975	24	40,1	17,1	14,7	14,7	40,1
Утворено відходів I–III класів небезпеки від економічної діяльності підприємств та організацій, т	280,6	1122,9	712,6	562,9	888,2	687,3	280,6	1122,9
Утилізовано відходів I–III класів небезпеки від економічної діяльності підприємств та організацій, т	126,3	297,8	208,4	112,8	95,8	77,9	77,9	297,8
Передано для утилізації відходи I–III класів небезпеки від економічної діяльності підприємств та організацій, т	148,1	915,5	551,2	362,1	406,1	436,4	148,1	915,5

\* Джерело: розроблено авторами на основі (Статистичний щорічник, 2021).

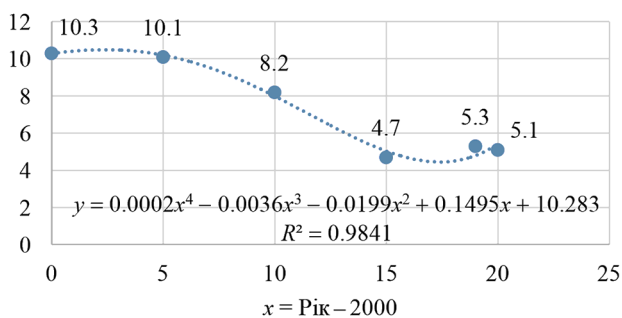
Швидкість зменшення:  $\Delta y/\Delta x = 5,6/15 = 0,373$  тис. тонн на рік.

Аналізуючи математичну модель представлену поліноміальною функцією четвертого ступеня:  $y = 0,0002x^4 - 0,0036x^3 - 0,0199x^2 + 0,1495x + 10,283$ , розглянемо коефіцієнти:

–  $0,0002x^4$ : вказує на незначний вплив четвертого ступеня, тому форма графіка згладжена;

–  $0,0036x^3$ : зменшує вплив високих значень  $x$ , що відповідає зниженню викидів;

–  $0,0199x^2$ : відповідає за вплив квадратичної складової на поведінку графіка. Розглядаючи вплив цього коефіцієнта зазначимо, що негативне значення ( $-0,0199$ ) свідчить про спадну тенденцію, яка найсильніше проявляється на середніх значеннях  $x$  (наприклад, 10–15 років).



**Рис. 1. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, тис. т\***

\* Джерело: розроблено авторами.

Це пояснює зниження викидів до мінімуму в 2015 році. У графічному аспекті квадратичний член додає до графіка параболічний ефект, згладжуючи спадання і створюючи вигин у напрямку до мінімального значення. Таким чином,  $-0,0199x^2$  є важливою складовою для моделювання тенденції поступового зменшення викидів у першій половині аналізованого періоду.

–  $0,1495x$ : описує поступове зростання у певні періоди (після мінімуму).

–  $10,283$ : початковий рівень викидів (2000 рік).

Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,9841$  свідчить, що модель пояснює 98,41 % варіації даних. Це досить високий показник.

На рис. 2 представлено динаміку щільності викидів на  $1 \text{ км}^2$  території.

Цей графік дозволяє оцінити динаміку викидів у перерахунку на площу, що важливо для аналізу впливу на конкретну територію. Графік демонструє наступні етапи змін щільності викидів:

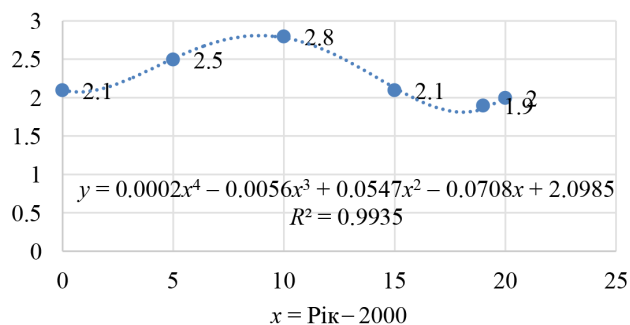
– 2000 рік ( $x = 0$ ): початковий рівень викидів складає  $2,1 \text{ т/км}^2$ . Це точка старту аналізу;

– 2010 рік ( $x = 10$ ): щільність викидів досягає максимуму –  $2,8 \text{ т/км}^2$ . Зростання пов'язане з посиленням забруднення, ймовірно, через економічну активність;

– 2019 рік ( $x = 19$ ): мінімальне значення щільності викидів –  $1,92 \text{ т/км}^2$ . Зниження, обумовлене ефективністю впроваджуваних екологічних заходів, чистих технологій у виробництві та екологічної політики загалом.

Динаміку скинутих у поверхневі водні об'єкти забруднених зворотних вод, показано на рис. 3.

Як бачимо із графіка, максимальне значення скидів спостерігалось у 2000 році –  $34,9 \text{ млн м}^3$ . Це стартова точка з високим рівнем забруднення.



**Рис. 2. Щільність викидів на  $1 \text{ км}^2$  території, т\***

\* Джерело: розроблено авторами.

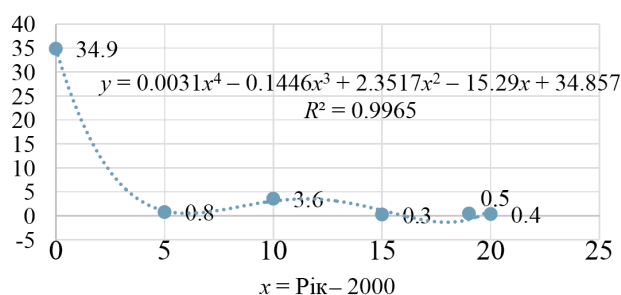
Мінімальне значення скидів було у 2015 році і становило –  $0,3 \text{ млн м}^3$ .

У 2020 році значення перебуває на позначці  $0,4 \text{ млн м}^3$ , що демонструє незначне зростання після мінімуму, але залишається стабільним.

Отже, обсяг скидів забруднених вод значно зменшився з 2000 до 2015 року, а потім стабілізувався на досить низькому рівні.

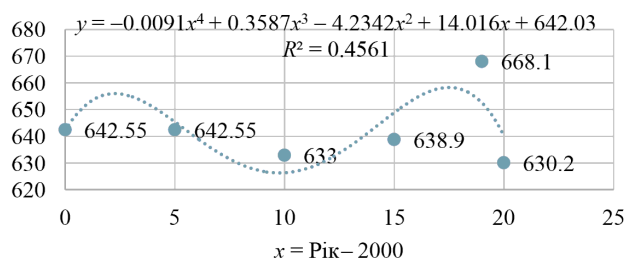
Ще одним вагомим базовим показником є утворення відходів, динаміку якого представлено на рис. 4.

Як бачимо, із 2005 до 2010 року спостерігається поступове зниження рівня утворення відходів до мінімального значення –  $633 \text{ тис. тонн}$ . У 2019 році обсяги зростають до максимуму



**Рис. 3. Скинуто у поверхневі водні об'єкти забруднених зворотних вод, млн м куб\***

\* Джерело: розроблено авторами.



**Рис. 4. Утворено відходів, тис. т\***

\* Джерело: розроблено авторами.

(668,1 тис. тонн), але на кінець спостережуваного періоду (2020 рік) знову зменшуються до 630,2 тис. тонн.

Що стосується моделі, то тут коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,4561$  вказує на те, що рівняння тренду недостатньо точно описує залежність між часом і кількістю відходів. Графік демонструє складну динаміку утворення відходів з вираженими періодами зростання

і спаду. Для більш глибокого аналізу необхідно враховувати додаткові зовнішні чинники (наприклад, проміжну інформацію щодо показника утворення відходів, зміни у законодавстві, економічні умови, рівень переробки відходів та ін.).

Загалом у дослідженні отримано результати моделювання динаміки 23 показників екологічного розвитку Волинської області, включаючи

Таблиця 2

**Інтегрований показник екологічного розвитку Волинської області,  $I_1^*$**

Базові показники	Стабілізатор (↑)/ дестабілізатор (↓)	Нормовані показники	Агреговані показники	Інтегрований показник, $I_1$	
<i>Інтегрований показник екологічного розвитку, <math>I_1</math></i>					
<i>1. Показник стану атмосферного повітря</i>					
Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря – всього, тис. т	↓	0,5984	0,6040	0,5912	
Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами, тис. т	↓	0,5387			
Викиди забруднюючих речовин пересувними джерелами	↓	0,6449			
Кількість викидів на душу населення, кг	↓	0,6086			
Щільність викидів на 1 км кв території, т	↓	0,6296			
<i>2. Земля. Природно-заповідний фонд</i>					
Площа сільськогосподарських угідь, тис. га	↑	0,5789	0,54527		
Внесення мінеральних добрив, тис. т	↓	0,6412			
Внесення органічних добрив, тис. т	↑	0,2529			
Заготівля деревини, площа рубок тис. га	↓	0,5975			
Обсяг заготовленої деревини, тис. м куб	↓	0,5597			
Заповідники та природні національні парки, площа, тис. га	↑	0,6409			
<i>3. Показник використання водних ресурсів</i>					
Забрано прісної води із поверхневих джерел, млн м куб.	↓	0,6189	0,6200		
Забрано прісної води із підземних джерел, млн м куб.	↓	0,4084			
Скинуто у поверхневі водні об'єкти забруднених зворотних вод, млн м куб	↓	0,8136			
Скинуто у поверхневі водні об'єкти нормативно очищених вод, млн м куб	↑	0,6390			
<i>4. Показник якісного стану питної води</i>					
Використання свіжої води на питні та санітарно-гігієнічні потреби, млн м куб.	↓	0,6916	0,6916		
<i>5. Показник поводження з відходами</i>					
Утворено відходів, тис. т	↓	0,6741	0,4953		
Утилізовано відходів, тис. т	↑	0,3835			
Передано для утилізації, тис. т	↑	0,5214			
Спалено відходів, тис. т	↓	0,6348			
Утворено відходів I–III класів небезпеки від економічної діяльності підприємств та організацій, т	↓	0,4913			
Утилізовано відходів I–III класів небезпеки від економічної діяльності підприємств та організацій, т	↑	0,3423			
Передано для утилізації відходи I–III класів небезпеки від економічної діяльності підприємств та організацій, т	↑	0,4193			

\* Джерело: розраховано авторами.



рівняння регресії та значення  $R^2$ , які загалом демонструють середні та високі рівні коефіцієнта детермінації. Це дає змогу оцінити якість моделей і їх придатність для прогнозування.

Аналіз отриманих результатів свідчить про високу точність моделей для показників: викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря; внесення мінеральних добрив; заповідники та природні національні парки; скинуто у поверхневі водні об'єкти забруднених зворотних вод; використання свіжої води на питні та санітарно-гігієнічні потреби; утилізація відходів I–III класів небезпеки від економічної діяльності підприємств та організацій, що вказує на практично повну відповідність побудованих рівнянь регресії реальним даним. Це дозволяє використовувати ці моделі для надійного прогнозування динаміки даних показників у короткостроковій перспективі.

Для показників: площа сільськогосподарських угідь, заготівля деревини, утворено, утилізовано та передано для утилізації відходів – модель має середній рівень відповідності, що також є прийнятним для аналізу загальних тенденцій, але вимагає обережності при використанні для прогнозування. Інші показники мають проміжні значення коефіцієнта детермінації, що варіюються залежно від складності взаємозв'язків і впливу зовнішніх чинників.

Для приведення обраних базових показників до нормованого виду (від 0 до 1) встановлено межі індикаторів  $N_{\max}$  та  $N_{\min}$ , за які приймалися відповідно найбільше та найменше значення базового показника за проміжок часу із 2000 по 2020 роки (табл. 1). Приведення базових індикаторів усіх типів до нормованого виду здійснено за формулами (1) і (2) для позитивних і негативних показників.

Інтегровані показники дають можливість оцінити стан окремих компонентів системи, наприклад, такого як екологічна стійкість, спираючись на вибрані агреговані індикатори. Це сприяє глибшому аналізу та допомагає виявити слабкі місця або перспективні напрями розвитку підсистеми.

Результати розрахунків інтегрованого показника екологічного розвитку Волинської області представлено у табл. 2

За результатами розрахунків, після приведення базових показників до нормованого виду, здійснення їх агрегування в інтегровані показники, стан за екологічним показником  $I_1$  розвитку Волинської області оцінюється як задовільний, маючи значення 0,59 та перебуваючи відповідно до шкали в межах 0,6–0,4.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** У дослідженні на основі огляду й узагальнення напрацьованих вітчизняних та іноземних вчених набули подальшого розвитку інформаційно-методичні підходи до оцінки сталого розвитку регіону, зокрема здійснено апробацію методики на прикладі екологічного стану Волинської області.

Проведений регресійний аналіз дозволив виявити ключові закономірності та тенденції змін у екологічній підсистемі Волинської області за період 2000–2020 років. Встановлено, що спостерігається поступове покращення якісного стану атмосферного повітря та водних ресурсів, проте стан земельних ресурсів і управління відходами залишається проблемним. Отримані залежності підтверджуються високими значеннями коефіцієнтів детермінації регресійних моделей  $R^2$ , що свідчить про надійність результатів і можливість їх використання для прогнозування короткострокового розвитку регіону.

Результати дослідження свідчать про те, що інтегрований показник екологічного розвитку Волинської області дає змогу оцінити стан регіону як задовільний, що свідчить про необхідність подальшого впровадження природоохоронних заходів та ефективнішого управління екологічними ресурсами.

Отримані результати можуть слугувати основою для ухвалення управлінських рішень, спрямованих на забезпечення сталого розвитку регіону, зокрема шляхом підвищення ефективності інтегрованих стратегій соціального, економічного та екологічного розвитку. Задовільний стан екологічної підсистеми вказує на стабільний, але потребує вдосконалення розвиток, що вимагає реалізації програм і заходів для підвищення балансу між соціальними, економічними та екологічними інтересами регіону.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. Войчук М.В. Організаційно-економічні засади управління сталим розвитком міста : автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.05. Луцьк, 2018. 24 с.
2. Караїм О.А. Соціально-еколого-економічні аспекти сталої повоєнної відбудови регіонів України. REBUILD UKRAINE: справа всього цивілізованого світу : збірник тез доп. II Міжнар. наук.-практ. конф. (Луцьк, 15 березня 2023 р.). Луцьк, 2023. С. 222–226.
3. Клименко Л.В. Математична модель прогнозування показника індексу розвитку економічних сфер середніх міст України. *Вісник НУВГП. Серія «Сільськогосподарські науки»*. 2024. № 2 (106). С. 71–83.
4. Клименко Л. В. Оцінка стану агросфери сільських населених пунктів за показниками сталого розвитку : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук : 03.00.16. Житомир, 2009. 20 с.
5. Клименко М.О., Боголюбов В.М., Клименко Л.В., Брежицька О.А. Практикум з розробки стратегій місцевого сталого розвитку. Навч. посіб. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. 230 с.
6. Клименко М.О., Прищепя А.М., Брежицька О.А. Оцінювання стану територій міста за показниками сталого розвитку : монографія. Рівне : НУВГП, 2018. 221 с.
7. Люльчик В.О. Оцінка стану агросфери за показниками сталого розвитку (на прикладі Рівненської області) : автореф. дис. ... канд. с.-г. наук спец. 03.00.16. Київ, 2009. 20 с.
8. Методичні підходи до вибору та обґрунтування критеріїв і показників сталого розвитку різних ландшафтних регіонів України. Вид. друге, перероб. і доповн. Під наук. ред. А.Г.Шапара. Дніпропетровськ: Поліграфіст, 2002. 98 с.
9. Методологія та методика визначення інтегральних соціальних показників. Відп. ред. Ю.І.Саєнко. Київ : Ін-т соціології НАНУ, 2004. 372 с.
10. Статистичний щорічник Волинь 2020. Головне управління статистики у Волинській області. Луцьк, 2021. 420 с.
11. Стратегія розвитку Волинської області на період до 2027 року. Волинська обласна державна адміністрація : офіційний сайт. URL: <https://voladm.gov.ua/article/strategiya-rozvitku-volinskoyi-oblasti-na-period-do-2027-roku/> (дата звернення: 07.10.2024).
12. Хомюк Н.Л. Диверсифікація розвитку сільських територій в умовах децентралізації : монографія. Луцьк : Вежа-Друк, 2019. 320 с.
13. Casini M., Bastianoni S., Gagliardi F., Gigliotti M., Riccaboni A., Betti G. Sustainable Development Goals Indicators: A Methodological Proposal for a Multidimensional Fuzzy Index in the Mediterranean Area. *Sustainability*, 2019. 11(4). 1198. 25 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11041198>.
14. Lafortune G., Fuller G., Moreno J., Schmidt-Traub G., Kroll C. SDG Index and Dashboards: Detailed Methodological paper. 2024 GitHub, Inc. Sdsna. 2018 GlobalIndex. September 2018. 56 p. URI: <https://github.com/sdsna/2018GlobalIndex>.
15. Papadimitriou E., Fragoso Neves A., Becker W. JRC Statistical Audit of the Sustainable Development Goals Index and Dashboards. EUR 29776 EN, Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2019. 35 p. DOI: <https://doi.org/10.2760/723763>.
16. Pollesch N.L., Dale V.H. Normalization in sustainability assessment: Methods and implications. *Ecological Economics*, 2016. 130. P. 195–208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.06.018>.
17. The Scope and Steps in Developing the Index. Methodology. City Development Index. URL: <https://cdindex.net/en/methodology>.
18. Wang W.-M.; Peng H.-H. A Fuzzy Multi-Criteria Evaluation Framework for Urban Sustainable Development. *Mathematics*. 2020. 8(3). 330. DOI: <https://doi.org/10.3390/math8030330>.
19. Zeug W., Bezama A., Thrän D. A framework for implementing holistic and integrated life cycle sustainability assessment of regional bioeconomy. *Int J Life Cycle Assess*, 26. 2021. p. 1998–2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01983-1>

**REFERENCES:**

1. Voychuk, M. V. (2018). Orhanizatsiino-ekonomichni zasady upravlinnia stalymi rozvytkom mista [Organizational and Economic Principles of Sustainable Urban Development Management]: avtoref. kand. dysertatsii na zdobuttia nauk. stupenia kand. ekon. nauk spets. 08.00.05. [PhD thesis abstract]. Lutsk, 24 p. [in Ukrainian].
2. Karaim, O.A. (2023). Sotsialno-ekoloho-ekonomichni aspekty staloi povoiannoï vidbudovy rehioniv Ukrainy [Socio-Ecological-Economic Aspects of Sustainable Post-War Reconstruction of Ukrainian Regions]. REBUILD UKRAINE: sprava vsioho tsyvilizovanoho svitu: zbirnyk tez dopovidei II Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (Lutsk, 15 bereznia 2023 r.). Lutsk: Vezha-Druk, P. 222–226. [in Ukrainian].
3. Klymenko, L. V. (2024). Matematychna model prohnozuvannya pokaznyka indeksu rozvytku ekonomichnykh sfer serednykh mist Ukrainy [Mathematical Model for Forecasting the Development Index of Economic Sectors in Medium-Sized Ukrainian Cities]. *Visnyk NUVHP. Seriya "Silskohospodarski nauky"*. Vypusk 2 (106). P. 71–83. [in Ukrainian].

4. Klymenko, L. V. (2009). Otsinka stanu ahrosfery silskykh naselenykh punktiv za pokaznykamy staloho rozvytku [Assessment of the State of Agro-Sphere in Rural Settlements Based on Sustainable Development Indicators]: avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk spets. 03.00.16. [PhD thesis abstract]. Zh., 20 p. [in Ukrainian].
5. Klymenko, M. O., Boholiubov, V. M., Klymenko, L. V., Brezhytska, O. A. (2013). Praktykum z rozrobky stratehii mistsevoho staloho rozvytku [Workshop on Developing Strategies for Local Sustainable Development]. Navchalnyi posibnyk. Kherson: OLDI-PLUS, 230 p. [in Ukrainian].
6. Klymenko, M. O., Pryshchepa, A. M., Brezhytska, O. A. (2018). Otsiniuvannia stanu terytorii mista za pokaznykamy staloho rozvytku [Assessment of Urban Areas Based on Sustainable Development Indicators]: Monograph. Rivne: NUVGP, 221 p. [in Ukrainian].
7. Liulchuk, V. O. (2009). Otsinka stanu ahrosfery za pokaznykamy staloho rozvytku (na prykladi Rivnenskoï oblasti) [Assessment of the Agro-Sphere Based on Sustainable Development Indicators (on the Example of Rivne Region)]: PhD thesis abstract. K., 20 p. [in Ukrainian].
8. Metodychni pidkhody do vyboru ta obgruntuvannia kryteriiv i pokaznykiv staloho rozvytku riznykh landshaftnykh rehioniv Ukrainy [Methodological Approaches to Selecting and Justifying Criteria and Indicators of Sustainable Development in Different Landscape Regions of Ukraine]. Vid. druhe, pererob. i dopovn. Ed. by A. H. Shapar. Dnipro: Polihrafist, 2002. 98 p. [in Ukrainian].
9. Metodolohiia ta metodyka vyznachennia intehralnykh sotsialnykh pokaznykiv [Methodology and Methods for Determining Integral Social Indicators]. Ed. by Yu. I. Saienko. Kyiv: Institute of Sociology of NASU, 2004. 372 p. [in Ukrainian].
10. Statystychnyi shchorichnyk Volyn 2020 [Statistical Yearbook Volyn 2020]. Holovne upravlinnia statystyky u Volynskii oblasti. Lutsk, 2021. 420 p. [in Ukrainian].
11. Strategy for the Development of Volyn Region until 2027. Volyn Regional State Administration: Official Website. Retrieved from: <https://voladm.gov.ua/article/strategiya-rozvitku-volynskoyi-oblasti-na-period-do-2027-roku/>. [in Ukrainian].
12. Khomyuk, N. L. (2019). Dyversyfikatsiia rozvytku silskykh terytorii v umovakh detsentralizatsii [Diversification of Rural Areas Development under Decentralization]: Monograph. Lutsk: Vezha-Druk, 320 p. [in Ukrainian].
13. Casini, M., Bastianoni, S., Gagliardi, F., Gigliotti, M., Riccaboni, A., Betti, G. (2019). Sustainable Development Goals Indicators: A Methodological Proposal for a Multidimensional Fuzzy Index in the Mediterranean Area. Sustainability, 11(4). 1198. 25 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11041198>
14. Lafortune, G., Fuller, G., Moreno, J., Schmidt-Traub, G., Kroll, C. (2018). SDG Index and Dashboards: Detailed Methodological paper. 2024 GitHub, Inc. Sdsna. 2018 GlobalIndex. September 56 p. Retrieved from: <https://github.com/sdsna/2018GlobalIndex>
15. Papadimitriou, E., Fragoso Neves, A., Becker, W. (2019). JRC Statistical Audit of the Sustainable Development Goals Index and Dashboards. EUR 29776 EN, Publications Office of the European Union. Luxembourg, 35 p. DOI: <https://doi.org/10.2760/723763>
16. Pollesch, N. L., Dale, V. H. (2016). Normalization in sustainability assessment: Methods and implications. Ecological Economics, 130. p. 195–208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.06.018>
17. The Scope and Steps in Developing the Index. Methodology. City Development Index. Retrieved from: <https://cdindex.net/en/methodology>
18. Wang, W.-M., Peng, H.-H. (2020). A Fuzzy Multi-Criteria Evaluation Framework for Urban Sustainable Development. Mathematics. 8(3). 330. DOI: <https://doi.org/10.3390/math8030330>
19. Zeug, W., Bezama, A., Thrän, D. (2021). A framework for implementing holistic and integrated life cycle sustainability assessment of regional bioeconomy. Int J Life Cycle Assess, 26. p. 1998–2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01983-1>