

## РОЗДІЛ 9. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

### СТАЛИЙ РОЗВИТОК РЕГІОНІВ УКРАЇНИ: ПРОСТОРОВО-ПАНЕЛЬНИЙ ПІДХІД

### SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF UKRAINIAN REGIONS: SPATIAL PANEL METHOD

*У статті реалізовано просторово-панельні моделі сталого розвитку регіонів України (просторова авторегресійна модель та просторова модель помилок) у вигляді залежності забруднення регіону від забруднення інших регіонів, валового регіонального продукту, капітальних інвестицій, витрат на збереження навколишнього середовища та кількості населення на основі статистичних даних про ці показники за період 2004–2020 роки у розрізі областей. Застосування методів просторового моделювання дозволило врахувати впливи сусідніх регіонів на процеси у регіоні, який досліджено. Коефіцієнт просторової авторегресії та просторової помилки свідчить про досить сильну залежність забруднення в регіоні від забруднень у інших регіонах та неврахованих чинників у інших регіонах відповідно. Отримані адекватні моделі зі статистично значущими параметрами, на основі яких запропоновані головні напрямки політики сталого розвитку регіонів України.*

**Ключові слова:** сталий розвиток, просторово-панельна модель, регіон, панельні дані, просторові ефекти.

*Today, the concept of sustainable development is probably familiar to everyone and no one undertakes to deny the critical need for such an approach to further world development. A holistic and scientific approach to modeling regional processes is important. This investigation is aimed at identifying the main causes of pollution in the regions, and making recommendations for further policy and reforms in Ukraine. The purpose of the investigation is to study the sustainable development of the regions of Ukraine. This paper used the method of spatial-panel modeling, namely modeling the dependence of environmental pollution on capital investment, GRP, population and environmental costs, based on regional data for 2004–2020. The main task is to build a spatial-panel model of sustainable development of the regions of Ukraine, analysis of the results, providing recommendations on certain areas of sustainable development policy in Ukraine. The following research methods are used in the investigation: spatial modeling method, spatial-panel modeling method, spatial-panel modeling with fixed effects, hypothesis testing method, econometric methods. The paper analyzes the current state and probability of achieving different directions of sustainable development of the regions of Ukraine, based on the goals and objectives of sustainable development until 2030. The works of the scientists and the methods of research and modeling of regional processes used by them are considered. The mathematical apparatus of research, namely the econometric aspects of spatial modeling is analyzed. SAR and SEM models of pollution of the regions of Ukraine by the method of spatial-panel modeling are constructed taking into account GRP, population, investment, as well as the cost of preserving the environment, using the programming language R in the RStudio environment. SAR and SEM models were built, and a rather strong influence of spatial effects on the level of pollution in the regions has been revealed. Models are analyzed, the main problems are identified. Policy recommendations are provided to achieve sustainable development of the Ukrainian regions on the basis of spatial-panel modeling.*

**Key words:** sustainable development, spatial-panel model, region, panel data, spatial effects.

УДК 332.1:330:34

DOI: <https://doi.org/10.32843/infracruct65-35>

**Зомчак Л.М.**

к.е.н., доцент,  
доцент кафедри  
економічної кібернетики  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка

**Коваль Л.О.**

магістр  
Львівський національний університет  
імені Івана Франка

**Zomchak Larysa**

Ivan Franko National University of Lviv

**Koval Liilia**

Ivan Franko National University of Lviv

**Постановка проблеми.** Концепція сталого регіонального розвитку відноситься до інтеграції принципів сталого розвитку в практику регіонального розвитку. Відповідно, вона охоплює всі види діяльності та інструменти, що сприяють сталому розвитку в рамках регіональних економічних ініціатив. Така спрямованість пояснюється, насамперед, важливою роллю регіонів як посередників між національним і місцевим рівнями, а також тому, що стійкість є важливим критерієм майбутнього регіонального розвитку. Одним із важливих аспектів реалізації цієї концепції є розроблення методів, індикаторів та підходів до оцінювання сталого розвитку регіонів.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Неможливо виділити єдиний метод моделювання

сталого розвитку, але один із кращих оглядів різних підходів до моделювання, а також логіки ухвалення рішень на основі отриманих моделей з метою досягнення цілей сталого розвитку викладено у [1].

Зважаючи на взаємний вплив трьох глобальних складових: екології, економіки та соціальної сфери, в розумінні сталого розвитку, багато вчених вдаються до застосування симульативного моделювання. Так Радмехр Р., Хеннеберрі Ш., Шаянмер С. використовують поєднання просторового та симульативного моделювань [2]. Згідно з дослідженням вчених, економічне зростання сильніше просторово корелює, ніж викиди вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) або споживання відновлюваної енергії.

Також досить часто паралельно з просторовим моделюванням застосовують панельне моделювання, оскільки воно дає змогу дослідити особливості тієї чи іншої території, чи періоду часу, протягом якого здійснюється дослідження. Так, Дж. Арбія, Р. Базіле, Дж. Пірас використовували моделі даних просторової залежності для аналізу поведінки регіонального зростання в Італії. Контроль за фіксованими ефектами дозволив вченим відокремити ефект просторової залежності (або просторової взаємодії) від просторової неоднорідності і, таким чином, дослідити регіональний процес конвергенції всередині країни [3].

За допомогою просторового аналізу на панельних даних досліджували вплив соціально-економічних та природних факторів на забруднення атмосферного повітря у Китаї японські вчені Л. Рена та К. Мацумото [4]. Дослідники вважають, що сприяння регіональній співпраці необхідне для подальшого зменшення забруднення атмосферного повітря.

Взаємодію між регіональною енергетикою, економікою та екологічною системою для економічного району поясу річки Янцзи вивчали Ц. Лю, Ю Тянь, Кай Хуан, Тао І [5]. Дослідники вважають, що поглиблене вивчення взаємозв'язку між цими трьома системами має велике значення для регіонального сталого розвитку.

Доволі цікавий метод моделювання використали Ш. Хан, Ч. Пен та Й. Лі у статті про споживання енергії, деградацію навколишнього середовища, економічне зростання та фінансовий розвиток у світі, а саме динамічний симультивний панельний аналіз [6]. Незважаючи на те, що в статті цей метод розглядає панельні дані світового масштабу, він також може бути використаний для моделювання регіональних процесів в межах країни.

Наголошують на важливості підтримки «зелених інновацій» Хуанга Х., Ванга Ф., Зонг М., Балезентис Т. та Стреймікієне Д. у статті про зелені інновації для сталого розвитку Китаю, де аналіз проведено на основі вкладених просторових панельних моделей [7]. Також сталий розвиток, за допомогою просторових даних досліджували Хе Й. та Хі Х. у статті про вивчення просторово-часових змін екологічної спроможності для регіонального сталого розвитку на основі GIS на прикладі міста Наньчан [8].

Гулієв Х. досліджував поширення COVID-19 за допомогою просторово-панельної моделі [9]. Регіональні процеси в своїх роботах розглядали Гебремаріам Г., Гебремедхін Г., Шеффер П., Фіппс Т., Джексон Р. [10] та Ван В., Юань З., Ян Ю., Ян Х. Лю Ю [1] та інші. Також для моделювання на рівні регіонів використовують методи кластерного аналізу [12; 13].

**Постановка завдання.** Поняття сталого розвитку регіонів включає багато складових, які

виражені в 17 цілях та 169 завданнях сталого розвитку. У дослідженні виділено одні з головних та доступних (з точки зору наявності статистичних даних) показників сталого розвитку регіонів з метою проведення кількісного аналізу їх взаємодії на регіональному рівні методом просторово-панельного моделювання. Застосування методів просторового моделювання дозволяє дослідити вплив сусідніх регіонів на показники сталого розвитку досліджуваного регіону. Вплив особливостей кожного регіону виражено через фіксовані індивідуальні ефекти, отримані в процесі панельного моделювання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Просторове моделювання в Україні, особливо в соціально-економічних сферах не є поширеним. Однією з причин такої ситуації є відсутність GIS даних, що значно б спростило просторовий аналіз. Іншою причиною низького рівня використання просторового моделювання в Україні є його відносна новітність, багато моделей було розроблено лише в останні декілька років, а робота над іншими триває і досі.

У дослідженні використано дані Державної служби статистики України [14] у період з 2004 по 2020 роки, а саме забруднення, ВРП, капітальні інвестиції, а також кількість населення та витрати на збереження навколишнього середовища. Оскільки дані для АР Крим наявні лише у період з 2004 по 2012 роки, має місце незбалансована просторово-панельна модель. На даний момент такий вид моделей є ще недостатньо дослідженим, тому при моделюванні цей регіон братись до уваги не буде.

Зміст просторового моделювання полягає у визначенні просторових ефектів, тобто як саме процеси в сусідніх регіонах впливають на процеси та показники досліджуваного регіону.

Після підбору даних, потрібно перш за все проаналізувати факторні ознаки на наявність мультиколінеарності. Для цього необхідно побудувати кореляційну матрицю (таблиця 1).

З кореляційної матриці видно, що сильних зв'язків між незалежними змінними моделі немає, тому можна вважати, що мультиколінеарність відсутня і можна переходити до побудови моделі.

Першим етапом побудови будь-якої просторової моделі є визначення просторової вагової матриці. У цій роботі матрицю збудовано на основі суміжності, простіше кажучи матриця визначає, які регіони межують між собою.

Проведено тест Хаусмана для вибору між просторовими моделями з фіксованими та випадковими ефектами. Згідно з проведеним тестом  $p_{value} = 2.2 \cdot 10^{-16} < 0,05$ , тому нульова гіпотеза відкидається, тобто модель із фіксованими ефектами є більш доцільною для використання. Також в межах цього тесту є можливість провести

Таблиця 1

Кореляційна матриця

	Населення	Витрати на охорону середовища	ВРП	Інвестиції
Населення	1	0.5604	0.4705	0.4128
Витрати на охорону середовища	0.5604	1	0.6377	0.1924
ВРП	0.4705	0.6377	1	0.3501
Інвестиції	0.4128	0.1924	0.3501	1

вибір між фіксованими та випадковим ефектами, беручи до уваги тип просторової моделі, в яку імплементуватимуться фіксовані (чи випадкові) ефекти. Тест Хаусмана було проведено для трьох найбільш поширених просторових моделей: SAR, SEM та SARAR. Для усіх проведених тестів  $p_{value} < 0,05$ , тому незалежно від вибору моделі на наступних кроках, можуть застосовуватись фіксовані ефекти.

Перш ніж перейти до побудови просторової моделі з фіксованими ефектами, потрібно визначити, який із типів просторових моделей варто використовувати. Переважно вибір постає між SAR та SEM моделями. Тому проведено тест множників Лагранджа на виявлення просторового лагу. Оскільки,  $p_{value} = 3.85 \cdot 10^{-12} < 0,05$ , можна прийняти альтернативну гіпотезу про наявність залежності від просторового лагу. Таким чином, просторова авторегресійна модель SAR може застосовуватись в даному випадку.

Також проведено тест на просторову залежність помилок (spatial error dependence). Зважаючи на те, що  $p_{value} = 1.73 \cdot 10^{-9} < 0,05$ , SEM модель є також прийнятною.

Спершу побудовано модель SAR з фіксованими ефектами регіонів, залежності забруднення навколишнього середовища від ВРП, капітальних інвестицій, а також кількості населення та витрат на збереження навколишнього середовища.

Коефіцієнт просторової авторегресії  $\rho = 0.3261$ . Він свідчить про досить сильну залежність забруднення регіону від забруднень інших регіонів. Окрім того коефіцієнт є статистично значущим,  $p_{value} < 0,001$ , що свідчить про не випадковість просторових ефектів.

Отримана модель має вигляд:

$$P_i = -2085.1 + 0.3261 \sum_{i \neq j} w_{ij} P_j - 0.000365 \cdot VRP + 0.00017 \cdot I + 51.67 \cdot \ln EX + 0.9032 \cdot PPL + R_i$$

де  $P_i$  – забруднення  $i$ -го регіону,  $w_{ij}$  – ваговий коефіцієнт просторової матриці  $W$ ,  $P_j$  – забруднення  $j$ -го регіону,  $VRP$  – валовий регіональний продукт,  $I$  – капітальні інвестиції,  $EX$  – витрати на збереження навколишнього середовища,  $PPL$  – кількість населення,  $R_i$  – фіксований ефект для  $i$ -го регіону.

Оскільки тест на просторову залежність помилок показав, що SEM модель також може застосовуватись для відображення залежності забруднення навколишнього середовища від ВРП, капітальних інвестицій, а також кількості населення та витрат на збереження навколишнього середовища, було побудовано модель, з такими змінними.

Параметр просторової помилки  $\lambda = 0.3808$  є доволі істотним, що свідчить про досить сильну залежність забруднення регіону від певних, неврахованих в моделі чинників в інших регіонах. Коефіцієнт  $\lambda$  в цій моделі є статистично значущим,  $p_{value} < 0,001$ .

Побудована модель має вигляд:

$$P_i = -2209.5 + 0.3808 \sum_{i \neq j} w_{ij} v_j - 0.00046 \cdot VRP + 0.00018 \cdot I + 47.615 \cdot \ln EX + 1.0402 \cdot PPL + R_i$$

де  $P_i$  – забруднення  $i$ -го регіону,  $w_{ij}$  – ваговий коефіцієнт просторової матриці  $W$ ,  $v_j$  – помилка (error term)  $j$ -го регіону,  $VRP$  – валовий регіональний продукт,  $I$  – капітальні інвестиції,  $EX$  – витрати на збереження навколишнього середовища,  $PPL$  – кількість населення,  $R_i$  – фіксований ефект для  $i$ -го регіону.

**Висновки з проведеного дослідження.** Аналізуючи отримані моделі можна зробити декілька висновків.

По-перше, параметри обох моделей мають доволі схожий характер, що знову ж таки свідчить про придатність обох моделей для використання.

По-друге, видно, що позитивно на забруднення (в розумінні зменшення забруднення) впливає рівень ВРП регіону. Такий вплив можна пояснити тим, що ВРП є одним з основних показників загального розвитку регіону, тому відповідно чим більший рівень розвитку регіону, тим менший рівень забруднення.

Аналізуючи коефіцієнт просторової помилки  $\lambda = 0.3808$ , видно, що є досить значний вплив певних, неврахованих в моделі, чинників в інших регіонах, які впливають на забруднення територій. Це дає поштовх до подальших досліджень того, що саме впливає на забруднення. Коефіцієнт просторової авторегресії  $\rho = 0.3261$ , показує доволі сильний вплив рівня забруднень сусідніх територій, на

досліджуваний регіон. Така ситуація зумовлена просторовими дифузійними ефектами.

Підсумовуючи, можна виділити основні напрямки політики, спрямовані на сталий розвиток регіонів:

- «зелені» інновації, їх залучення та популяризація;
- інноваційні сфер діяльності як один з пріоритетів розвитку;
- популяризація природничих та технічних наук, STEM-освіта;
- контроль за розподілом коштів на охорону довкілля;
- посилення державного регулювання екологічного сліду виробництва;
- подолання корупції та зловживань із бюджетними коштами;
- кооперація між регіонами у залученні нових технологій та інноваційній діяльності.

Це лише одні з багатьох, проте надзвичайно важливих, змін, які стоять на шляху досягнення сталого розвитку регіонів України.

Отже, розроблені моделі допомогли оцінити впливи різних чинників на забруднення навколишнього середовища, тим самим дали змогу сформулювати основні напрямки політики щодо сталого розвитку регіонів. У подальших дослідження можна розширити підбір моделей просторово-панельного моделювання та змінити набір чинників, щоб дослідити їх вплив на сталий розвиток регіонів України.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. International Institute for Sustainable Development. Modelling for Sustainable Development: *New Decisions for a New Age*. 2019.
2. Radmehr R., Henneberri S., Shayanmer S. Renewable Energy Consumption, CO<sub>2</sub> Emissions, and Economic Growth Nexus: A Simultaneity Spatial Modeling Analysis of EU Countries. *Structural Change and Economic Dynamics*. Volume 57. 2021.
3. Arbia G., Basile R., Piras G. R Using Spatial Panel Data in Modelling Regional Growth and Convergence. 2006.
4. Ren L., Matsumoto K. Effects of socioeconomic and natural factors on air pollution in China: A spatial panel data analysis. *Science of The Total Environment*. 2020.
5. Kang J., Zhang X., Zhu X., Zhang B. Ecological security pattern: A new idea for balancing regional development and ecological protection. A case study of the Jiaodong Peninsula, China. *Global Ecology and Conservation*. 2020.
6. Khan S., Peng Z., Li Y. Energy consumption, environmental degradation, economic growth and financial development in globe: Dynamic simultaneous equations panel analysis. *Energy Reports*. 2019.
7. Huang H., Wang F., Song M., Balezentis T., Streimikiene D. Green innovations for sustainable development of China: Analysis based on the nested spatial panel models. *Technology in Society*, 65. 2019.
8. He Y., Xie H. Exploring the spatiotemporal

changes of ecological carrying capacity for regional sustainable development based on GIS: A case study of Nanchang City. *Technological Forecasting and Social Change*. Volume 148, 2019.

9. Guliyev H. Determining the spatial effects of COVID-19 using the spatial panel data model. *Spatial Statistics*. Volume 38. 2020.

10. Gebremariam G., Gebremedhin G, Schaeffer P., Phipps Tim, Jackson R. Employment, income, migration and public services: A simultaneous spatial panel data model of regional growth. *Papers in Regional Science*. Volume 91 Number 2. 2012.

11. Wang W., Yuan Z., Yang Y., Yang X. Liu Y. Factors influencing traffic accident frequencies on urban roads: A spatial panel time-fixed effects error model. *Plos One*. 2019.

12. Babenko, V., Zomchak, L., Nehrey, M. Ecological and economic aspects of sustainable development of Ukrainian regions. *E3S Web of Conferences* (Vol. 280). EDP Sciences. 2021.

13. Вдовин М., Купець О. Багатомірною класифікація районів Львівщини та регіонів України методами кластерного аналізу за показниками соціального розвитку. *Вісник Львівського університету. Серія економічна*. 2012. №47 С. 369–373.

14. Державна служба статистики України: веб-сайт. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 10.01.2022)

#### REFERENCES:

1. Bassi, A. M., Casier, L., Laborde, D., Linsen, M., Manley, D., Maennling, N., ... & West, J. (2019). Modelling for Sustainable Development: New decisions for a new age.
2. Radmehr, R., Henneberry, S. R., & Shayanmehr, S. (2021). Renewable energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and economic growth nexus: a simultaneity spatial modeling analysis of EU countries. *Structural Change and Economic Dynamics*, 57, 13–27.
3. Arbia, G., Basile, R., & Piras, G. (2005). Using spatial panel data in modelling regional growth and convergence.
4. Ren, L., & Matsumoto, K. I. (2020). Effects of socioeconomic and natural factors on air pollution in China: A spatial panel data analysis. *Science of The Total Environment*, 740, 140155.
5. Kang, J., Zhang, X., Zhu, X., & Zhang, B. (2021). Ecological security pattern: A new idea for balancing regional development and ecological protection. *A case study of the Jiaodong Peninsula, China*, 26, e01472.
6. Khan, S., Peng, Z., & Li, Y. (2019). Energy consumption, environmental degradation, economic growth and financial development in globe: Dynamic simultaneous equations panel analysis. *Energy Reports*, 5, 1089–1102.
7. Huang, H., Wang, F., Song, M., Balezentis, T., & Streimikiene, D. (2021). Green innovations for sustainable development of China: Analysis based on the nested spatial panel models. *Technology in Society*, 65, 101593.
8. He, Y., & Xie, H. (2019). Exploring the spatiotemporal changes of ecological carrying capacity for

regional sustainable development based on GIS: A case study of Nanchang City. *Technological Forecasting and Social Change*, 148, 119720.

9. Guliyev, H. (2020). Determining the spatial effects of COVID-19 using the spatial panel data model. *Spatial statistics*, 38, 100443.

10. Gebremariam, G. H., Gebremedhin, T. G., Schaeffer, P. V., Phipps, T. T., & Jackson, R. W. (2012). Employment, income, migration and public services: A simultaneous spatial panel data model of regional growth. *Papers in Regional Science*, 91(2), 275–297.

11 Wang, W., Yuan, Z., Yang, Y., Yang, X., & Liu, Y. (2019). Factors influencing traffic accident frequencies on urban roads: A spatial panel time-fixed effects error model. *PLoS one*, 14(4), e0214539.

12. Babenko, V., Zomchak, L., & Nehrey, M. (2021). Ecological and economic aspects of sustainable development of Ukrainian regions. *In E3S Web of Conferences* (Vol. 280). EDP Sciences.

13. Vdovyn M., Kupets O. (2012) Bahatovymirna klasyfikatsiya rayoniv Lvivshchyny ta rehioniv Ukrayiny metodamy klasternoho analizu za pokaznykamy sotsialnoho rozvytku [Multidimensional classification of districts of Lviv region and regions of Ukraine by methods of cluster analysis by indicators of social development]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya ekonomichna*, no. 47, pp. 369–373.

14. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. URL <http://www.ukrstat.gov.ua> (accessed 10 January 2022).