

та садово-паркового господарства : тези матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. 25 листопада 2022 р. Умань : ВПЦ «Візаві», 2022. С. 158–160.

10. Осіпов М. Ю., Величко Ю. А., Масловата С. А., Паливода Н. Л. Топінг як явище в Українських реаліях: очевидні помилки під час його виконання та їх шкідливі наслідки для зелених насаджень. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. Т. 30, № 5. С. 9–14.

11. Пономарьова О. А., Ліннік А. А. Естетична роль примагістральних насаджень. *Колесніковські читання: тези доповідей Всеукр. наук.-практ. конф., присвяченої пам'яті О. І. Колеснікова*, 25 листопада 2020 р. Харків : «ЦП КОМПРИНТ», 2020. С. 135–137.

12. Пономарьова О. А., Мильнікова О. О., Прокопенко Н. А. Аналіз життєвості вуличних насаджень після омолоджувальної обрізки (на прикладі м. Дніпро). *Наукові доповіді НУБіП України*. Вип. № 5(87). 2020. DOI: [https:// dx.doi.org/10.31548/dopovidi2020.05.15](https://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2020.05.15).

УДК 502.1(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.136.1.36>

## МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ІНДЕКСУ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНИХ СФЕР СЕРЕДНІХ МІСТ УКРАЇНИ

*Клименко Л.В.* – к.с.-г.н., докторантка,  
доцент кафедри туризму та готельно-ресторанної справи,  
Національний університет водного господарства та природокористування

У статті викладені результати обґрунтування математичної моделі прогнозування індексу розвитку екологічних сфер середніх міст України.

Як відомо, кожний населений пункт, місто можна розглядати як соціо-економіко-екологічну систему, яка базується на різних зовнішніх та внутрішніх чинниках, що визначають їхній розвиток, є і будуть завжди специфічними та індивідуальними.

Аналіз та оцінку станів екологічних сфер середніх міст здійснювали за критеріями: викиди в атмосферне повітря, використання води, поводження з відходами, рівень озеленення міста, витрати на природоохоронну діяльність.

Оцінку станів екологічних сфер середніх міст здійснювали за 7 індикаторами, кількісні значення яких були унормовані в шкалу від 0 до 1,0 з використанням формул для стимуляторів і дестимуляторів. На підставі статистичних даних за цими індикаторами був проведений регресійний і кореляційний аналіз, а на підставі метричних коефіцієнтів були відібрані індикатори, які найбільш результативно могли впливати на величину індексу розвитку екологічних сфер цих міст.

Багатофакторна лінійна регресія описує залежність індексу розвитку екологічних сфер середніх міст від 7 індикаторів, що характеризують:  $x_1$  і  $x_2$  – викиди в атмосферне повітря;  $x_3$ ,  $x_4$  – використання води;  $x_5$  – поводження з відходами;  $x_6$  – рівень озеленення міста;  $x_7$  – витрати на природоохоронну діяльність. Коефіцієнт детермінації багатофакторної лінійної регресії становить величину 0,976, а відхилення значень індексу розвитку екологічних сфер середніх міст, розрахованих за 7 індикаторами як середньоарифметичне, й індексами розвитку екологічних сфер міст, розрахованих за багатофакторною залежністю, не перевищують 0,64–6,9%.

Були також отримані математичні моделі, які описують вплив індексів розвитку екологічних сфер міст на інтегральний індекс сталого розвитку міст, який є величиною

середньоарифметичною з трьох індексів розвитку соціальної, економічної, екологічної сфер середніх міст, яка має вид прямої лінії, з коефіцієнтом детермінації та відхиленнями при їх порівнянні від 2,0 до 11%. Дана залежність може бути придатною для розрахунків інтегральних індексів сталого розвитку міст за показниками лише індексів розвитку екологічних сфер середніх міст України.

**Ключові слова:** екологічна сфера, індикатори, стимулятори, дестимулятори, математичні моделі, регресія, коефіцієнти кореляції, коефіцієнти детермінації.

### ***Klymenko L.V. Prognostication model of the development index of the medium – sized cities ecological sphere of Ukraine***

*The article presents the results of the substantiation of the mathematical model for prognostication the development index of medium – sized cities ecological sphere of Ukraine.*

*The condition assessment of medium – sized city ecological sphere was carried out according to seven indicators, the quantitative values of which were normalized in the scale from 0 to 1,0 using the formulas for stimulants and destimulants.*

*On the basis of statistics regression and correlation analysis of these indicators was conducted, on the basis of matrix coefficient the indicators which could most efficiently influence the value of the index of the development of these cities ecological sphere were selected.*

*Multivariant linear regression describes the dependence of the development index of ecological sphere of medium – sized cities on seven indicators which characterize the following ones:  $x_1$  and  $x_2$  – emission into atmosphere,  $x_3$ ,  $x_4$  – water use,  $x_5$  – waste management,  $x_6$  – the level of city greening,  $x_7$  – expenses for environmental protection activity.*

*The determination coefficient of multivariate linear regression is 0,976, and the deviation of index values of the development of medium – sized cities ecological spheres, calculated according to multivariate dependence, do not exceed 0,64–6,9%.*

*Mathematical models that describe the influence, of development indices of medium – sized cities ecological sphere on integral index of sustainable cities development were obtained, which is the average arithmetic value in these development indices of social, economic, ecological sphere of medium – sized cities that has the appearance of a straight line, with determination coefficient and deviation while their comparing from 2,0 to 11%.*

**Key words:** ecological sphere, indicators, stimulants, destimulants, mathematical model, regression, correlation coefficient, determination coefficient.

**Вступ.** У постанові Верховної Ради України «Про концепцію сталого розвитку населених пунктів» зазначається, що основними напрямками державної політики щодо забезпечення сталого розвитку населених пунктів є: узгодженість соціального, економічного, містобудівного та екологічного аспектів розвитку населених пунктів та оточуючих територій, раціональне використання земельних, водних, рекреаційних та інших природних ресурсів, створення умов для їх відновлення [1].

Як відомо, кожний населений пункт, місто можна розглядати як соціо-економіко-екологічну систему, яка базується на різних зовнішніх та внутрішніх чинниках, що визначають їхній розвиток, є і будуть завжди специфічними та індивідуальними.

Для імітації процесу функціонування соціо-економіко-екологічних систем і їхнього розвитку застосовують математичні моделі які дозволяють робити прогнози на ближню і віддалену перспективи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** В екологічних дослідженнях використовують математичні моделі які відтворюють (імітують) алгоритм функціонування соціо-економіко-екологічної системи, або її окремих сфер в часі, при різних поєднаннях значень її параметрів і зовнішнього середовища.

Вивченню проблеми моделювання, прогнозування забезпечення сталого розвитку присвячено ряд наукових публікацій знаних математиків і економістів:

Б. Карпінський, С. Божко [2, 3], Є. Брикун [4], В. Вітлінський [5], В. Гейне, Т. Клебанова, О. Черняк [6], П. Ковальчук [7], С. Поліщук, В. Долодаренко, Н. Чорнобровкіна та ін. [8], І. Ляшенко [9], З. Герасимчук, І. Кондіус [10].

Аналіз цих публікацій засвідчує, що більшість запропонованих авторами моделей носили глобальний характер і не завжди були враховані особливості розвитку міст [10].

Відтак, для моделювання і забезпечення сталого розвитку екологічної сфери міст виникає потреба в обґрунтуванні методів прогнозування, які найдоцільніше використовувати при короткостроковому прогнозі. З урахуванням унікальності міст у прогнозних розрахунках значимістю різних індикаторів, які враховуються при прогнозуванні сталого розвитку в конкретному місті будуть суттєво відрізнятися і насамперед кількісно. Відповідно для визначення ваги кожного з таких індикаторів доцільно застосовувати методи кореляції, а методи регресії слід використовувати для визначення залежностей між двома або більше змінними. Важливість цих завдань і обумовили вибір теми наших досліджень.

**Мета роботи** полягала в розробці моделі прогнозування індексу розвитку екологічної сфери середніх міст України.

Досягнення мети передбачало виконання наступних завдань: вибору індикаторів для характеристики екологічних сфер міст, переведення індикаторів у нормовану шкалу від 0 до 10, розрахунку індексів розвитку екологічної сфери міст, встановленню багатofакторної лінійної регресії для оцінки станів екологічних сфер міст, розрахунку математичної моделі для прогнозування змін індексів розвитку екологічних сфер міст на ближню перспективу.

**Об'єкт дослідження** – процеси змін, які відбуваються в екологічних сферах життєдіяльності середніх міст.

**Предмет дослідження** – індикатори, які характеризують стан екологічних сфер середніх міст, математичні моделі, які характеризують залежність індексу розвитку екологічних сфер середніх міст від індикаторів, модель прогнозування змін індексів розвитку екологічних сфер середніх міст.

**Методи і методики досліджень.** Використовувались методи: ретроспективного аналізу первинних статистичних індикаторів; оцінку рівня розвитку екологічних сфер здійснювали зведенням унормованих у шкалу від 0 до 1,0 індикаторів в індекс розвитку екологічних сфер (як середньоарифметичне) кореляційного і регресійного аналізу з використанням програм Microsoft Excel та Statistica.

**Результатами досліджень.** Аналіз та оцінку станів екологічних сфер середніх міст здійснювали за критеріями: викиди в атмосферне повітря (два індикатора); використання води (два індикатора); поводження з відходами (один індикатор); рівня озеленення міста (один індикатор); витрат на природоохоронну діяльність (один індикатор) (рис. 1).

При цьому набір індикаторів для аналізу визначали за ознаками важливості, наявності динамічних змін впродовж років.

$X_1$  – викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, кг/особу;  $X_2$  – викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел, кг/особу;  $X_3$  – рівня використання свіжої води, м<sup>3</sup>/особу;  $X_4$  – потужності очисних споруд, м<sup>3</sup>/особу;  $X_5$  – утворення відходів I–III класів небезпеки, кг/особу;  $X_6$  – загальної площі зелених масивів та насаджень, м<sup>2</sup>/особу;  $X_7$  – капітальних інвестицій та поточних витрат на охорону навколишнього середовища, грн/особу.

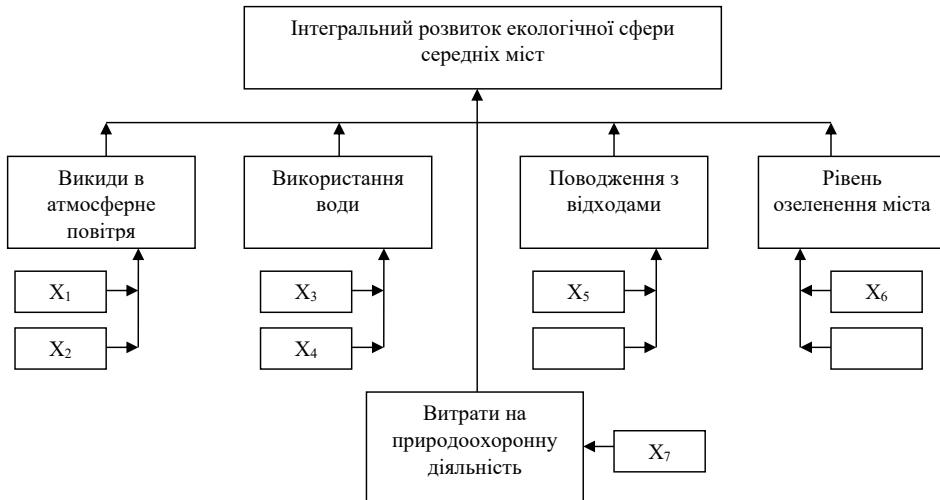


Рис. 1. Схема розрахунку інтегрального показника розвитку екологічної сфери середніх міст

Переведення індикаторів у нормований вигляд шкалу від 0 до 1,0 здійснювали за формулами:

для індикаторів стимуляторів

$$x_1 = \frac{N_i - N_{(min)}}{N_{(max)} - N_{(min)}}$$

для дестимуляторів

$$x_2 = \frac{N_{(max)} - N_i}{N_{(max)} - N_{(min)}}$$

де  $x_1, x_2$  – унормовані індикатори, які характеризують окремі критерії, одн.;  $N_{(max)}$  – стимулятори,  $N_{(min)}$  – дестимулятори – брали значення базових індикаторів, які відповідали кращим для середніх міст, одн.;  $N_i$  – фактичні значення індикаторів, одн.

За унормованими індикаторами нами були розраховані індекси розвитку екологічних сфер середніх міст, які за період 2017–2020 років коливались в діапазоні для Івано-Франківська від 0,563 до 0,781, Луцька від 0,461 до 0,55, Мелітополя від 0,654 до 0,57, Рівного від 0,41 до 0,36.

За результатами кореляційного і регресійного аналізу було встановлено, що між індикаторами, а саме: викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, кг/особу; викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел, кг/особу; рівня використання свіжої води, м<sup>3</sup>/особу; потужності очисних споруд, м<sup>3</sup>/особу; утворення відходів I–III класів небезпеки, кг/особу; загальної площі зелених масивів та насаджень, м<sup>2</sup>/особу; капітальних інвестицій та поточних витрат на охорону навколишнього середовища, грн/особу та величинами індексів розвитку екологічних сфер середніх міст.

(РЕС) за період 2010–2020 років, встановлений слабкий, помірний і сильний (-0,37 – +0,76), а рівняння, які описують ці залежності мають вид прямих ліній (табл. 1).

Таблиця 1

**Результати кореляційного і регресійного аналізу залежності індексу розвитку екологічної сфери від величини індикаторів**

№ п/п	Назва індикатора	Вид рівняння, коефіцієнт кореляції, r	Коефіцієнт детермінації, R <sup>2</sup>
1	Викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, кг/особу (-)	$y_1 = -0,0194x_1 + 0,672$ $r = -0,76$	0,575
2	Викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел, кг/особу (-)	$y_2 = -0,0042x_2 + 0,775$ $r = -0,37$	0,137
3	Утворення відходів I–III класів небезпеки, кг/особу (-)	$y_3 = -0,0431x_3 + 0,664$ $r = -0,60$	0,362
4	Загальна площа зелених масивів та насаджень, м <sup>2</sup> /особу	$y_4 = 0,0096x_4 + 0,244$ $r = 0,72$	0,515
5	Капітальні інвестиції та поточні витрати на охорону навколишнього середовища, грн/особу	$y_5 = 0,0003x_5 + 0,467$ $r = 0,61$	0,377

*Примітка: (-) – показник дестимулятор*

Слабкий зв'язок був встановлений для індикатора викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел (-0,37). Сильний зв'язок був виявлений для індикаторів викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел та загальної площі зелених масивів та насаджень -0,76 і +0,72 відповідно.

Для індикаторів утворення відходів I–III класів небезпеки -0,60 та капітальних інвестицій та поточні витрати на охорону навколишнього середовища +0,60 тіснота взаємозв'язків їх з індексом розвитку екологічних сфер середніх міст відповідала помірному рівню (табл. 1).

Виявлення зв'язків між індикаторами та величинами ІРЕС, від помірних до сильних, було підставою для включення їх до вибірок проведення багатofакторного кореляційного та регресійного аналізу. Як свідчать розрахунки залежність між величинами ІРЕС сфер середніх міст за період 2010–2020 роки з 7 індикаторами, які характеризують стан екологічних сфер цих міст, описується багатofакторною лінійною регресією, яка має вид:

$$\text{ІРЕС} = 1,32 + 0,005x_1 + (-0,014x_2) + (-0,00026x_3) + (-0,00063x_4) + (-0,036x_5) + 0,0043x_6 + 0,00033x_7 \quad (1)$$

При коефіцієнті R<sup>2</sup>=0,976

Висновок підсумків.

*Регресійна статистика*

Множинний R	0,987688682
R-квадрат	0,975528932
Нормований R-квадрат	0,918429774
Стандартна помилка	0,041562172
Спостереження	11

## Дисперсійний аналіз

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значення <i>F</i>
Регресія	7	0,206587939	0,029512563	17,08482	0,020043
Залишок	3	0,005182243	0,001727414		
Разом	10	0,211770182			

Аналіз отриманого багатofакторного регресійного рівняння суттєвий вплив на ІРЕС здійснюють 7 індикаторів, а саме:  $x_1$  – викиди забруднюючих речовин від стаціонарних джерел, кг/особу;  $x_2$  – викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел, кг/особу;  $x_3$  – рівня використання свіжої води, м<sup>3</sup>/особу;  $x_4$  – потужності очисних споруд, м<sup>3</sup>/особу;  $x_5$  – утворення відходів I-III класів небезпеки, кг/особу;  $x_6$  – загальної площі зелених масивів та насаджень, м<sup>2</sup>/особу;  $x_7$  – капітальних інвестицій та поточних витрат на охорону навколишнього середовища, грн./особу.

Проведені розрахунки та порівняння ІРЕС засвідчують, що середні міста впродовж 2010–2020 років характеризуються, а саме: позитивною динамікою змін Івано-Франківськ (+0,214 у 2017 р.) і (+0,004 у 2020 р.); Луцьк (+0,02 у 2017 р.) і (+0,068 у 2020 р.); та негативною Мелітополь (-0,084 у 2017 р.); Рівне (-0,026 у 2017 р.) і (-0,024 у 2020 р.). Ця динаміка змін ІРЕС обумовлюється деяким зростанням кількісних індикаторів стимуляторів у Івано-Франківську, Луцьку і зменшенням показників дестимуляторів, що і обумовлює для цих міст конкурентні переваги (табл. 2).

Таблиця 2

## Аналіз динаміки змін індексів розвитку екологічної сфери середніх міст

Місто	Роки визначення				
	2010 р.	2017 р.		2020 р.	
Івано-Франківськ	0,563	0,777	+0,214	0,781	+0,004
Луцьк	0,461	0,482	+0,02	0,550	+0,068
Мелітополь	0,654	0,570	-0,084		
Рівне	0,410	0,384	-0,026	0,360	-0,024

Примітка: 2 – величина ІРЕС середньоарифметичне з 7 унормованих індикаторів, одн; 3 – зміна ІРЕС у часі, одн.

Поряд з цим нами проведена перевірка придатності багатofакторної лінійної регресії ІРЕС, яка розроблена для прогнозування цього показника за 7 індикаторами результати якої представлено у таблиці 2. Як видно з таблиці 2 розраховані показники ІРЕС за залежністю (1) у порівнянні з показником індексу розвитку екологічних сфер середніх міст (середньоарифметичного) розрахованого за значеннями індикаторів унормованих у шкалу від 0 до 1,0 відхилення між показниками які аналізуються не перевищує у 2010 році 6,9% 2017 році 5,8% і 2020 році – 3,45% (табл. 2). За відхилень до 7% багатofакторну лінійну залежність можна використовувати для розрахунку ІРЕС з використанням кількісних значень індикаторів, які наводяться (відображаються) у статзвітності.

Одночасно нами були (розраховані) встановлені залежності, які описують вплив ІРЕС середніх міст на інтегральний індекс сталого розвитку міст (ІСРМ) яка має вид:

$$y = 0,267 + 0,443x \quad (2)$$

при коефіцієнті кореляції  $r =$   
де  $y$  – розрахований ПСРМ, одн;  
 $x$  – розраховані ІРЕС середніх міст за індикаторами переведених у шкалу від 0 до 1,0 як середньоарифметичне, одн.;

Результати перевірки придатності отриманої залежності 2 для прогнозних розрахунків ПСРМ лише за ІРЕС середніх міст представлена у таблиці 3.

Таблиця 3

**Результати перевірки придатності багатофакторної лінійної регресії для прогнозування індексу розвитку екологічної сфери середніх міст**

Місто	Роки визначення					
	2010 р.		2017 р.		2020 р.	
Івано-Франківськ	0,563	+1,07	0,777	+0,64	0,781	-2,05
	0,569		0,782		0,765	
Луцьк	0,461	-5,42	0,482	+5,8	0,550	+3,45
	0,436		0,510		0,569	
Мелітополь	0,654	-6,88	0,570	+5,4		
	0,609		0,601			
Рівне	0,410	+2,4	0,384	-1,04	0,360	-2,5
	0,420		0,380		0,351	

Примітка: 2 – чисельник величина ІРЕС середньоарифметичне вираховане з унормованих індикаторів; знаменник величини ІРЕС розрахований за формулою (1); 3 – відхилення між ІРЕС, %.

Таблиця 4

**Результати перевірки придатності залежності прогнозу величин ПСРМ за показниками ІРЕС**

Місто	Роки визначення								
	2010 р.			2017 р.			2020 р.		
Івано-Франківськ	0,623	0,52	-16,5	0,694	0,61	-12,1	0,680	0,61	+5,2
Луцьк	0,504	0,47	-6,8	0,490	0,48	-2,0	0,459	0,51	+10,9
Рівне	0,478	0,45	-5,9	0,495	0,44	-11,2	0,418	0,43	+2,9

Примітка: 2 – величини ПСРМ, одн.; 3 – величини показники ПСРМ розраховані за залежністю 2, одн.; 4 – відхилення, %.

Як видно з таблиці 4 розраховані показники величин ПСРМ за показниками ІРЕС екол.С середніх міст з використанням залежності 2 відрізняються між собою на величину, а саме: Івано-Франківську від – 16,5% у 2010 році – 12,1% у 2017 році і +5,2% у 2020 р.; Луцьку – 6,8% у 2010 році, – 2,0% у 2017 році +10,9% у 2020 році; Рівному – 5,9% у 2010 році, – 11,2% у 2017 році +2,9% у 2020 році. Враховуючи, що переважна більшість відхилень при розрахунку показника ПСРМ за даними показників ІРЕС не перевищує 11% залежність 2 може використовуватися для прогнозування інтегрального індексу сталого розвитку середніх міст лише за розрахованими ІРЕС середніх міст.

**Висновки.** Залежність між величинами індексами розвитку екологічних сфер середніх міст за період 2010–2020 роки з 7 унормованими у шкалу від 0 до 1,0 індикаторами, які характеризують стан екологічних сфер цих міст, описується математичною моделлю, яка має вид багатофакторної лінійної регресії при коефіцієнті детермінації 0,976.

Отримана багатофакторна лінійна регресія є статистично достовірною при діапазоні похибок від 1,04 до 6,88% є придатною для прогнозування величин ІРЕС середніх міст за 7 унормованих індикаторів, які характеризують екологічну сферу цих міст України.

Залежність між величинами інтегральними індексами сталого розвитку міст, за період 2010–2020 років, та індексами розвитку екологічних сфер середніх міст України описується математичною моделлю, яка має вид прямої лінії при коефіцієнті детермінації

Отримана залежність у вигляді зростаючої прямої лінії є статистично достовірною при діапазоні похибок від 2,0 до 11,2% і може бути придатною для розрахунків інтегральних індексів сталого розвитку міст за показниками лише індексів розвитку екологічних сфер середніх міст України.

#### **СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:**

1. Постанова Верховної Ради України «Про концепцію сталого розвитку населених пунктів» 24 грудня 1999 року № 1359 – XIV.
2. Карпінський Б.А., Божко С.М. Продуктивність і сталий розвиток економіки: монографія, Львів: Вид-во «Логос», 2004. 274 с.
3. Карпінський Б.А., Божко С.М. Сталий розвиток економіки: узагальнена модель : монографія, Львів : Вид-во «Логос», 2005. 256 с.
4. Брикун С.В. Моделювання страхового механізму компенсації еколого-економічних збитків: монографія. Харків: Форт, 2004. 256 с.
5. Вітлінський В.В. Моделювання економіки: навч. посібник. К.: КНЕУ, 2003. 408 с.
6. Моделі і методи соціально-економічного прогнозування: підручник/ В.М. Гейць, Т.С. Клебанова, О.І. Черняк та ін. Харків: В.Д. «ІНЖЕК», 2005. 396 с.
7. Ковальчук П.І. Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища: навч. посібник. К : Либідь, 2003. 208 с.
8. Систематичний аналіз і моделювання у розв'язанні проблем сталого розвитку території/ С.З. Поліщук, В.О. Долодаренко, Н.А. Чорнобровкіна та ін. Дніпропетровськ: Поліграфіст, 2001. 133 с.
9. Лященко І.М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку. К.: Вища школа, 1999. 236 с.
10. Теоретичні та прикладні засади прогнозування стійкого розвитку регіону: Монографія. Луцьк : «Надстир'я», 2010. 412 с.