

Марія В. Григорків
ДИНАМІЧНІ МОДЕЛІ ДВОСЕКТОРНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ
ЕКОНОМІКИ З ЛІНІЙНИМИ ФУНКЦІЯМИ
ПОВЕДІНКИ ЇЇ СУБ'ЄКТІВ

У статті запропоновано моделі двосекторної економіки з урахуванням процесів еколого-економічної взаємодії, економічної структури суспільства та лінійних функцій поведінки його суб'єктів. Моделі призначено для експериментальних досліджень в режимі комп'ютерної імітації процесів еколого-економічної динаміки.

Ключові слова: еколого-економічна система; сталий розвиток; економічна поведінка; рівняння динамічних змінних.

Форм. 11. Літ. 10.

Мария В. Григоркив
ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДВУХСЕКТОРНОЙ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ С ЛИНЕЙНЫМИ
ФУНКЦИЯМИ ПОВЕДЕНИЯ ЕЕ СУБЪЕКТОВ

В статье предложены модели двухсекторной экономики с учетом процессов эколого-экономического взаимодействия, экономической структуры общества и линейных функций поведения его субъектов. Модели предназначены для экспериментальных исследований в режиме компьютерной имитации процессов эколого-экономической динамики.

Ключевые слова: эколого-экономическая система; устойчивое развитие; экономическое поведение; уравнение динамических переменных.

Mariia V. Grygorkiv¹
DYNAMIC MODELS OF TWO-SECTOR ENVIRONMENTAL
ECONOMICS WITH LINEAR FUNCTIONS
OF ITS SUBJECTS' BEHAVIOUR

The two-sector economy models are suggested taking into account the processes of ecological and economic interaction, economic structure of the society and linear functions of its subjects' behaviour. The models are designed for experimental research in computer simulation mode of the processes of ecological and economic dynamics.

Keywords: ecological and economic system; sustainable development; economic behavior; equation of dynamic variables.

Постановка проблеми. Екологізація економіки та її сталий (стійкий) розвиток на сьогодні виступають стратегічним орієнтиром для функціонування та динаміки економічних систем різних країн та регіонів нашої планети, а для науки — одним із пріоритетних напрямків досліджень. Людське суспільство все більше починає усвідомлювати глибину та актуальність цих проблем, причиною яких виявилось вкрай недбале відношення людини до природокористування, забруднення навколишнього середовища та утилізації екологічно небезпечних відходів різного роду людської діяльності, а найперше — виробництва. Проголошена на загальновідомій Конференції ООН в Ріо-де-Жанейро (червень 1992 р.) ідея сталого розвитку фактично започаткувала в багатьох країнах світу розробку національних стратегій сталого розвитку з урахуванням проблем навколишнього середовища, збереження якого повинно

¹ Yuri Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine.

розглядатися в процесах прийняття відповідних рішень як першочергове завдання. У контексті зазначеного особливо важлива роль відведена науці, покликаної сприяти кращому розумінню динаміки взаємозв'язків суспільства і природи та успішному вирішенню актуальних проблем сучасності, пов'язаних з продовольчою безпекою, покращенням якості навколишнього середовища та збереженням глобальних природних систем і підтримки на цій основі всіх форм життя на нашій планеті [1; 3; 9].

Дуже важливими та актуальними є проблеми взаємодії природних і соціально-економічних систем для України, яка має чимало наслідків від потужного антропогенного тиску на навколишнє середовище, зокрема, виснаження надр, родючості землі, погіршення стану здоров'я населення тощо [4]. У цьому сенсі екологізація економіки та реалізація принципів сталого розвитку є для нашої країни пріоритетною проблемою, що вимагає системного наукового дослідження, зокрема, комплексного оцінювання та прогнозування змін, які відбуваються під впливом антропогенних факторів. Вивчення зазначених та інших питань еколого-економічної взаємодії потребує не тільки ефективного використання вітчизняного наукового потенціалу, але й відповідного інструментарію. Надзвичайно важливою складовою такого інструментарію є математичне та комп'ютерне моделювання, що надає можливість замінити об'єкт дослідження моделлю і в імітаційному режимі з цією моделлю здійснювати відповідні експерименти.

Аналіз досліджень і публікацій. Вище вже йшлося про те, що проблеми еколого-економічної взаємодії та сталого розвитку набули надзвичайного значення для світової та вітчизняної науки та є одними з найбільш пріоритетних об'єктів дослідження, адже без їх наукового осмислення неможливо підготувати підґрунтя для розробки і впровадження у реальну практику засобів досягнення соціо-еколого-економічної рівноваги, яка в динаміці власне і забезпечує той розвиток, який ми називаємо сталим. Особливістю даного об'єкта дослідження є його багатогранність та багатоаспектність, що потребує залучення фахівців різних наукових напрямків. Важливу роль відіграють економіко-математичне моделювання та комп'ютерно-інформаційні технології. Багато зарубіжних і вітчизняних вчених працювали та працюють у цьому напрямку, зокрема, значне місце у розробці теоретичних основ та створенні моделей екологізації економіки і сталого розвитку займають праці українських вчених В. Григорківа [2], Л. Загвойської [5], І. Ляшенка [6; 7], М. Михалевича [6], А. Онищенко [8], Ю. Тадеєва [10] та ін. Звичайно, що навести більш-менш повний перелік науковців, які працюють в цій галузі науки, а тим більше – огляд їхніх праць та результатів в рамках однієї статті неможливо і в цьому немає потреби, хоча варто підкреслити, що більшість дослідників концентрують увагу на побудові різних класів балансових, оптимізаційних та імітаційних моделей еколого-економічної взаємодії різного рівня агрегування. Це стосується і вітчизняних вчених.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. Аналіз досліджень та публікацій з еколого-економічної тематики підтверджує адекватне розуміння ситуації, що склалася у світі та в нашій країні зокрема, а також прагнення науковців долучитися своїми результатами до її виправлення, оскільки, крім теоретич-

них, з'являються також перспективні прикладні дослідження, спрямовані на активізацію держави і всього суспільства щодо досягнення екологічно та соціально збалансованого економічного розвитку. Є успіхи також в розробці не лише окремих моделей, але й відповідних систем підтримки прийняття рішень. Серед питань, які ще не зовсім вивчені, залишаються різні соціально-економічні аспекти процесів екологізації економіки, зокрема щодо місця та ролі в цих процесах різних суспільних груп та їх вплив на економічну динаміку.

Для розкриття та обґрунтування цих та інших аспектів еколого-економічного та соціально-економічного характеру потрібні наукові підходи, які базуються на методах моделювання економічної динаміки та забезпечують можливість проводити модельні експерименти для імітаційного відтворення реальних процесів, що відбуваються в системах еколого-економічної взаємодії. Такі підходи відкривають перспективи більш адекватного аналізу причин і наслідків екологізації економіки для підвищення якості та рівня життя людського суспільства.

Метою дослідження є один із підходів до вивчення вказаних вище питань, що враховує в моделях еколого-економічної взаємодії показники т.зв. економічної структури суспільства, тобто розподілу елементів суспільства (сімей, окремих громадян тощо) за ліквідними нагромадженнями (надалі заощадженнями), що швидко і без втрат конвертуються в гроші. Різні суспільні кластери проявляють неоднакову економічну активність, але всі вони прямо чи опосередковано мають відношення до соціально-економічної дійсності, до створення, розподілу та використання агрегованого суспільного продукту. Явне чи неявне врахування в моделях еколого-економічних систем поведінки елементів суспільства сприяє більш адекватному аналізу та прогнозуванню динаміки цих систем.

Основні результати дослідження. Як відомо, забруднення є побічним результатом людської діяльності, зокрема виробництва, тому для моделювання процесів еколого-економічної взаємодії логічно вважати, що економічна система складається з двох взаємодоповнюючих секторів – сектору А, в якому здійснюється виробництво агрегованого суспільного продукту (основного сектору), та сектору В (допоміжного), в якому утилізуються рештки або виробничі відходи, утворені внаслідок функціонування обох секторів. Будемо також вважати, що економічна структура суспільства, зважаючи на його кластеризацію, представлена наступними групами громадян: непрацюючими пенсіонерами ($n_0 = v_0n$); працюючими пенсіонерами в секторі А ($n_1 = v_1n$); працюючими пенсіонерами в секторі В ($n_2 = v_2n$); непенсійного віку працівниками сектору А ($n_3 = v_3n$); непенсійного віку працівниками сектору В ($n_4 = v_4n$); власниками (фізичними або юридичними особами, державою) підприємств і установ сектору А ($n_5 = v_5n$); власниками підприємств і установ сектору В ($n_5 = v_5n$). Вище у дужках прийнято такі позначення: n – сумарна чисельність всіх груп, n_i та v_i ($i = \overline{0,6}$) – чисельність i -тої групи та її частка в сумарній чисельності всіх груп. Зауважимо, що в певному розумінні така кластеризація суспільства є достатньо повною, оскільки можна вважати, що все доросле населення має відношення до створення агрегованого суспільного продукту

(слово «працівник» у загальному випадку може мати ширший зміст, ніж слово «робітник» у традиційному трактуванні).

Будучи суб'єктами соціально-економічної системи, всі члени суспільства характеризуються певною економічною поведінкою, яку будемо описувати за допомогою таких функцій економічної поведінки: функції попиту окремого споживача на агрегований суспільний продукт q_A ; функції випуску (пропозиції) одним працівником сектору А (одним робочим місцем) агрегованого суспільного продукту f_A ; функції утилізації одним працівником сектору В екологічно шкідливих відходів φ_B ; функції попиту на утилізацію одного власника сектору В ψ_B (будемо вважати, що $\psi_B = c\varphi_B$, де c – деякий сталий коефіцієнт). Аргументами функцій q_A , f_A та φ_B , ψ_B будуть відповідно купівельна спроможність $s_A^{(i)}$ ($i = \overline{0,6}$), капіталозабезпечення s_A одного робочого місця у секторі А та капіталозабезпечення s_B одного робочого місця у секторі В. Зазначимо, що купівельна спроможність та відповідні капіталозабезпечення можуть залежати від різних джерел фінансування, тобто формуватися різними способами, один з яких власне і буде використаний нижче. Функції економічної поведінки впливають на динаміку досліджуваної еколого-економічної системи (секторів А, В), яку будемо моделювати за допомогою таких динамічних змінних: z_i ($i = \overline{0,6}$) – ліквідний капітал або заощадження представника i -тої групи; p_A – ціна одиниці агрегованого суспільного продукту; p_B – тариф утилізації 1 од. відходів; ξ – обсяг забруднення навколишнього середовища внаслідок функціонування системи. Витрати заощаджень пов'язані із споживанням агрегованого суспільного продукту, утилізацією відходів та виробництвом агрегованого суспільного продукту. Нехай α_i , β_i та γ_i ($i = \overline{0,6}$) – частки відповідних витрат ($\alpha_i + \beta_i + \gamma_i \leq 1$), причому нижче розглянемо лише ситуацію, коли всі пенсіонери (непрацюючі та працюючі), а також працівники непенсійного віку не витрачають свої заощадження на утилізацію та виробництво агрегованого суспільного продукту, тобто $\beta_i = 0$, $\gamma_i = 0$ ($i = \overline{0,4}$). Ці витрати мають лише власники.

Для того, щоб сформулювати рівняння динаміки змінних z_i ($i = \overline{0,6}$), p_A , p_B , ξ , спочатку конкретизуємо аргументи введених вище функцій економічної поведінки. Будемо вважати, що купівельна спроможність та капіталозабезпечення формуються солідаризовано відповідною суспільною групою, тому представник кожної з груп у певному сенсі усереднено (агреговано) репрезентує свою групу. Це припущення означає, що $s_A^{(i)} = (n_i \alpha_i z_i) / (n_i p_A) = \alpha_i z_i / p_A$ ($i = \overline{0,6}$), $s_A = (n_5 \gamma_5 z_5) / [(n_1 + n_3) p_A]$ (капіталозабезпечення робочого місця, як і купівельну спроможність, зручно вимірювати не в грошах, а у безрозмірних одиницях – відношенні суми грошей до очікуваної ціни). Стосовно s_B зробимо деякі уточнення. Справа в тому, що сектор В функціонує переважно за рахунок зовнішніх замовлень на утилізацію, причому основними замовниками є власники сектору А та держава. Перші повинні оплачувати утилізацію своїх відходів у секторі В (принаймні деяку їх частину, що відповідає виділеній на утилізацію частці γ_5 своїх заощаджень), а держава повинна дбати про утилі-

зацію всіх наявних забруднювачів, тобто не обов'язково тих, що є наслідком діяльності сектору А. Поведінка власників у секторі В неоднозначна, однак надалі будемо вважати, що вони обов'язково вкладають частку γ_6 своїх заощаджень у діяльність сектору В, але додаткових вкладень в утилізацію не здійснюють, тобто $\beta_6 = 0$. З урахуванням зазначених зауважень

$s_B = (n_5\beta_5z_5 + n_6\gamma_6z_6 + p_B d) / [(n_2 + n_4)p_B]$, де d – обсяг державного замовлення на утилізацію (у натуральних одиницях – н.о.). Ще одне важливе припущення стосується лійності функцій економічної поведінки, тобто будемо вважати,

$$\text{що } q_A = q_A(s_A^{(i)}) = s_A^{(i)} = \alpha_i z_i / p_A \quad (i = 0, 6), \quad f_A = f_A(s_A) = s_A = \frac{n_5 \gamma_5 z_5}{(n_1 + n_3) p_A},$$

$$\varphi_B = \varphi_B(s_B) = s_B \frac{n_5 \beta_5 z_5 + n_6 \gamma_6 z_6 + p_B d}{(n_2 + n_4) p_B}, \quad \psi_B = \frac{n_2 + n_4}{n_6} \varphi_B(s_B) = \frac{n_2 + n_4}{n_6} s_B.$$

Логічно також припускати, що обсяги виробничих відходів у секторах А та В прямо пропорційні з коефіцієнтом λ та $\bar{\lambda}$ ($\lambda, \bar{\lambda} \in (0, 1)$) відповідно до обсягу створеного агрегованого суспільного продукту та обсягу утилізованих відходів.

Приступимо до формалізації моделей. Якщо d_0, d_1, d_2 – відповідно пенсія, зарплата працівника сектору А, зарплата працівника сектору В (у н.о.), а k_0 – ставка податку на дохід, то динаміка заощаджень непрацюючого пенсіонера визначається різницею між його пенсією та витратами на споживання продукції, працюючого пенсіонера – різницею між доходом, що складається з пенсії та оподаткованої зарплати, і витратами на споживання продукції, працівника непенсійного віку – різницею між оподаткованою зарплатою та витратами на споживання продукції, тобто

$$\frac{dz_0}{dt} = p_A d_0 - \alpha_0 z_0; \tag{1}$$

$$\frac{dz_i}{dt} = p_A d_0 + p_A d_i (1 - k_0) - \alpha_i z_i, \quad i = 1, 2; \tag{2}$$

$$\frac{dz_j}{dt} = p_A d_{j-2} (1 - k_0) - \alpha_j z_j, \quad j = 3, 4. \tag{3}$$

Представник групи власників сектору А формує свій дохід з реалізації агрегованого суспільного продукту, а його витратну частину становлять видатки на особисте споживання продукції, утилізацію своїх виробничих відходів у секторі В, зарплату своїм працівникам та податок на фонд заробітної плати (ставка k_1), потреби організації своєї діяльності (частка λ_A від доданої вартості), податок на додану вартість (ставка k_2). Отже, граничний приріст заощаджень власника сектору А описується рівнянням

$$\begin{aligned} \frac{dz_5}{dt} = & \frac{p_A (1 - k_0)}{n_5} \sum_{i=0}^6 n_i q_A(s_A^{(i)}) - p_A q_A(s_A^{(5)}) - p_B \frac{n_6}{n_5} \psi_B \left(\frac{n_5 \beta_5 z_5}{(n_2 + n_4) p_B} \right) - \\ & - \frac{p_A}{n_5} [(n_1 + n_3) d_1 (1 + k_1) + (n_1 + n_3) (\lambda_A + k_2) f_A(s_A)] = \frac{1 - k_0}{n_5} \sum_{i=0}^6 n_i \alpha_i z_i - \\ & - [\alpha_5 + \beta_5 + (\lambda_A + k_2) \gamma_5] z_5 - \frac{n_1 + n_3}{n_5} p_A d_1 (1 + k_1). \end{aligned} \tag{4}$$

Щоб формалізувати рівняння динаміки заощаджень власника сектору В, найперше потрібно визначитись з тим, як формується його дохід. Зрозуміло, що складовими доходу є вартість (в розрахунку на одного власника) утилізованого замовлення від власників сектору А та держави. Однак власник сектору В також вкладає частку γ_6 своїх заощаджень, яка може приносити йому дохід тільки у тому випадку, коли вартість утилізованого забруднення, що відповідає цій частці, буде компенсована іншим зовнішнім замовником. У протилежному випадку компенсації він не отримає. У будь-якому випадку власник сектору В повинен здійснювати певні вкладення у свою (утилізаційну) діяльність, адже він також є винуватцем забруднення (т.зв. вторинного забруднення), яке є побічним результатом його діяльності. Надалі для однозначної визначеності будемо вважати, що власник сектору В не отримує доходу від власних вкладень в утилізацію. Його витрати, пов'язані з власним попитом на основну продукцію, виплатою зарплати своїм працівникам, податком на фонд заробітної плати, внутрішніми (організаційними) потребами своєї діяльності (частка λ_B від доданої вартості), податком на додану вартість (вартість утилізованого забруднення). З урахуванням вищесказаного рівняння динаміки змінної Z_6 матиме вигляд

$$\begin{aligned} \frac{dz_6}{dt} = & p_B(1-k_0)\psi_B \left(\frac{n_5\beta_5 z_5 + p_B d}{(n_2+n_4)p_B} \right) - p_A q_A (s_A^{(6)}) - \frac{p_B}{n_6} [(n_2+n_4)d_2(1+k_1) + \\ & + (n_2+n_4)(\lambda_B+k_2)\varphi_B(s_B)] = (1-k_0-\lambda_B-k_2) \frac{n_5\beta_5 z_5}{n_6} - [\alpha_6 + (\lambda_B+k_2)\gamma_6] \times z_6 + \\ & + [(1-k_0)d - d_2(n_2+n_4)(1+k_1) - d(\lambda_B+k_2)] \times \frac{p_B}{n_6}. \end{aligned} \quad (5)$$

Зміна ціни p_A і тарифу p_B визначається різницею відповідно між попитом на агрегований суспільний продукт та його пропозицією і між попитом на утилізацію відходів та пропозицією утилізованих відходів, тобто для p_A і p_B маємо рівняння

$$\frac{dp_A}{dt} = \theta_A \left[\sum_{i=0}^6 \frac{n_i \alpha_i z_i}{p_A} - \frac{n_5 \gamma_5 z_5}{p_A} \right]; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{dp_B}{dt} = & \theta_B \left[n_6 \psi_B \left(\frac{n_5\beta_5 z_5 + p_B d}{(n_2+n_4)p_B} \right) - (n_1+n_3)\lambda f_A(s_A) - (n_2+n_4)\bar{\lambda}\varphi_B(s_B) \right] = \\ = & \theta_B \left\{ \left[\frac{n_6\beta_5}{(n_2+n_4)p_B} - \frac{\lambda\gamma_5}{p_A} - \frac{\bar{\lambda}\beta_5}{p_B} \right] n_5 z_5 - \frac{\bar{\lambda}n_6\gamma_6}{p_B} z_6 + \frac{n_6 d}{n_2+n_4} - \bar{\lambda}d \right\}, \end{aligned} \quad (7)$$

де θ_A і θ_B – коефіцієнти інерційності ринку агрегованого суспільного продукту та ринку утилізованого забруднення.

Оскільки система (1)–(7) є системою диференціальних рівнянь, для однозначного знаходження її розв'язку до неї потрібно додати початкові умови

$$z_i(t_0) = z_i^{(0)}, \quad (i = \overline{0,6}), \quad p_A(t_0) = p_A^{(0)}, \quad p_B(t_0) = p_B^{(0)}. \quad (8)$$

Співвідношення (1)–(8) формалізують одну з динамічних моделей дво-секторної економіки з лінійними функціями поведінки її суб'єктів і утилізацією забруднення, створеного як в основному, так і допоміжному секторах. Одна з найпростіших модифікацій моделі (1)–(8) пов'язана з умовою динамічної еколого-економічної рівноваги

$$\frac{\bar{\lambda}n_6\gamma_6}{\rho_B}z_6 - \frac{n_6d}{n_2+n_4} + \bar{\lambda}d - \left[\frac{n_6\beta_5}{(n_2+n_4)\rho_B} - \frac{\lambda\gamma_5}{\rho_A} - \frac{\bar{\lambda}\beta_5}{\rho_B} \right] n_5z_5 \leq \theta, \quad (9)$$

де θ – у загальному випадку динамічна величина, що визначає максимально допустимий у досліджуваній економіці рівень забруднення навколишнього середовища, тобто величина прийнятого екологічного стандарту. Доповнивши співвідношення (1)–(8) умовою балансу (9) (у (9) знак \leq можна також замінити на знак $=$), отримуємо ще одну модель двосекторної економіки з урахуванням процесів еколого-економічної взаємодії. Інші модифікації моделі (1)–(8) передбачають наявність співвідношення для динамічної змінної ξ – забруднення довкілля, викликаного функціонуванням секторів А та В. Очевидно, що створене у цих секторах забруднення зазвичай утилізується не повністю. Однак сама природа володіє здатністю до самоочищення певної частки забруднення. Якщо η – коефіцієнт асиміляції або природного спаду забруднення, то рівняння динаміки змінної ξ формалізується так:

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{\bar{\lambda}n_6\gamma_6}{\rho_B}z_6 - \frac{n_6d}{n_2+n_4} + \bar{\lambda}d - \left[\frac{n_6\beta_5}{(n_2+n_4)\rho_B} - \frac{\lambda\gamma_5}{\rho_A} - \frac{\bar{\lambda}\beta_5}{\rho_B} \right] n_5z_5 - \eta\xi. \quad (10)$$

Звичайно, можна вважати, що для ξ відома початкова умова

$$\xi(t_0) = \xi^{(0)}. \quad (11)$$

Отже, приєднавши до (1)–(8) або (1)–(9) співвідношення (10), (11), матимемо варіанти моделей (1)–(8), (10), (11) та (1)–(11), кожна з яких описує процеси, що відбуваються в реальних еколого-економічних системах.

Висновки. Запропоновані у даній праці динамічні моделі двосекторної екологічної економіки з лінійними функціями поведінки її суб'єктів відображають поведінку в часі еколого-економічної системи, в якій створюється агрегований суспільний продукт і здійснюється утилізація як «первинного», так і «вторинного» забруднення, тобто екологічно небезпечних відходів кожного із секторів. Відтак, ці моделі також можуть бути в різний спосіб розширені, наприклад, за рахунок більш детальної кластеризації суспільства, однак їх сутність та призначення не зазнають суттєвих змін, оскільки всі вони підпорядковані одній меті – дослідженню на їх основі закономірностей та трендів еколого-економічної динаміки і застосуванню отриманих результатів у системах підтримки прийняття відповідних рішень у реальній ситуації.

Запропоновані моделі є диференціальними моделями динаміки еколого-економічних систем, залежать від багатьох параметрів, тому їх практична апробація може бути здійснена за допомогою відповідного комп'ютерно-інформаційного забезпечення, що власне дозволяє проводити з моделями імітаційні експерименти, результати яких дають можливість зробити необхідні висновки щодо досліджуваного об'єкта. Дуже важливою є адекватна параметризація моделей, яка залежить не лише від професійності дослідника, але

перш за все – від якості початкового інформаційного забезпечення. При цьому зазначимо, що рівень застосування моделей (регіональний чи макрорівень) відповідає рівню їх інформаційного забезпечення, розробка якого зазвичай є складною задачею, що вимагає серйозних зусиль для її розв'язання.

Зазначимо, що викладені у даній праці моделі спрямовані також на вдосконалення інструментарію дослідження складних динамічних систем, до яких власне належать еколого-економічні системи та системи сталого розвитку.

1. *Герасимчук З.В.* Регіональна політика сталого розвитку: методологія формування, механізми реалізації: Монографія. – Луцьк: Надтир'я, 2001. – 495 с.
2. *Григорків В.С.* Моделювання еколого-економічної взаємодії: Навч. посібник. – Чернівці: Рута, 2007. – 84 с.
3. *Гринів Л.С.* Екологічно збалансована економіка: проблеми теорії: Монографія. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2001. – 240 с.
4. *Дробноход М.* Україна в контексті апокаліптичного розвитку людства // Наукові записки АН ВШ України. – 2010. – Т. V. – С. 5–36.
5. *Загвойська Л.Д.* Теоретичні підходи до моделювання динаміки еколого-економічних систем // Моделювання регіональної економіки: Збірник наук. праць. – 2013. – Вип. 2. – С. 85–102.
6. *Ляшенко І.М., Михалевич М.В., Утеушев Н.У.* Методи еколого-економічного моделювання. – Нукус: Билим, 1994. – 236 с.
7. *Ляшенко І.М.* Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку. – К.: Вища школа, 1999. – 236 с.
8. *Онищенко А.М.* Моделювання еколого-економічної взаємодії в процесі виконання рішень Кіотського протоколу: Монографія. – Полтава: Полтавський літератор, 2011. – 398 с.
9. Проблеми сталого розвитку України. – К.: БМТ, 2001. – 423 с.
10. *Тадєєв Ю.П.* Економіко-математичне моделювання та сталий розвиток // Проблеми системного підходу в економіці: Збірник наук. праць НАУ. – 2010. – Вип. 33. – С. 69–73.

Стаття надійшла до редакції 6.05.2015.