Марія В. Григорків, Василь С. Григорків

МОДЕЛІ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ ДВОСЕКТОРНОЇ ЕКОНОМІКИ З ОСНОВНИМ І ДОПОМІЖНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

У статті запропоновано моделі динаміки двосекторної економіки, один із секторів якої займається випуском основної продукції, а інший – утилізацією забруднення, створеного основним виробництвом. Моделі призначено для дослідження закономірностей розвитку економічних систем в умовах їх екологізації та розробки екологічних стандартів, пов'язаних з допустимими обсягами забруднення довкілля.

Ключові слова: *рівняння динаміки; двосекторна економіка; еколого-економічна рівновага.*
Форм. 12. Літ. 12.

Мария В. Григоркив, Василий С. Григоркив

МОДЕЛИ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ ДВУХСЕКТОРНОЙ ЭКОНОМИКИ С ОСНОВНЫМ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

В статье предложены модели динамики двухсекторной экономики, один из секторов которой занимается выпуском основной продукции, а другой – утилизацией загрязнения, произведенного основным производством. Модели предназначены для исследования закономерностей развития экономических систем в условиях их экологизации и разработки экологических стандартов, связанных с допустимыми объемами загрязнения окружающей среды.

Ключевые слова: *уравнение динамики; двухсекторная экономика; эколого-экономическое равновесие.*

Mariia V. Hryhorkiv[1], Vasyl S. Hryhorkiv[2]

MODELS OF ECO-ECONOMIC DYNAMICS OF TWO-SECTOR ECONOMY WITH PRIMARY AND AUXILIARY PRODUCTIONS

The article proposes the dynamic models of two-sector economy, in which one of the sectors is engaged in production of primary products, and another – in utilization of pollution, created by major production. The models are designed to study the patterns with economic systems in terms of ecologization and development of environmental standards related to acceptable amounts of pollution.

Keywords: *dynamic equation; two-sector economy; eco-economic balance.*
Peer-reviewed, approved and placed: *6.03.2017.*

Постановка проблеми. Тривалий період в історії людства єдиним джерелом забруднення навколишнього середовища були процеси, які відбувалися в природі без участі людини, оскільки її діяльність була спрямована лише на здобуття засобів існування як «дарунків природи». Масштабного виробництва, пов'язаного з великим обсягом природних ресурсів, особливо невідновлюваних, тоді ще не було, тому в цей період розвитку людської цивілізації жодних небезпек антропогенного впливу на формування навколишнього середовища, динаміку процесів, які відбуваються в ньому, також не було. Початком реального антропогенного впливу на навколишнє середовище прийнято вва-

[1] Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine.
[2] Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Ukraine.

© Марія В. Григорків, Василь С. Григорків, 2017

жати період розвитку виробництва з використанням машинних технологій, функціонування яких неможливе без видобутку енергоносіїв і багатьох інших корисних копалин, наслідком якого і стало забруднення атмосфери та інших складників навколишнього середовища. На сучасному етапі розвитку економіки багато що змінилося, зокрема, якісно зросло технологічне забезпечення процесів виробництва, але проблема забруднення навколишнього середовища нікуди не зникла. Навпаки, вона стала більш гострою у зв'язку з багатьма екологічними кризами, які уже відбулися і можуть ще відбутися внаслідок стратегічно неправильної економічної політики та людської діяльності в цілому, як на рівні окремих регіонів і країн, так і в масштабах усієї нашої планети. Оскільки забруднення навколишнього середовища безпосередньо впливає на екологічність економіки, а відповідно й на рівень її збалансованості в сенсі сталого розвитку [1–9; 12], то процеси еколого-економічної взаємодії є важливим об'єктом наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні проблемами переходу до екологічно- та соціально збалансованої економіки, обґрунтування тактичних і стратегічних цілей сталого розвитку як мети людського суспільства займається багато зарубіжних і вітчизняних учених різного наукового профілю, що підкреслює комплексну багатозначність, гостроту і складність цих проблем. Розгорнутий аналіз проблем екологізації економіки в межах цієї праці неможливий, проте варто зазначити, що основні концептуальні принципи та положення, які складають фундаментальну основу теоретичного, методологічного і методичного інструментарію дослідження процесів еколого-економічної взаємодії та сталого чи стійкого розвитку, були сформовані в працях науковців так званого Римського клубу [7] і Дж. Форрестером [12], а також у матеріалах Конференції ООН з навколишнього середовища (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.) [9] та інших сучасних заходів наукового та суспільно-політичного характеру. Вагоме місце як у світовій, так і вітчизняній науці, присвяченій еколого-економічним системам і сталому розвитку, належить працям з економіко-математичного моделювання. До них слід віднести також праці І. Ляшенка [3; 4], М. Михалевича [3], А. Онищенка [6], Ю. Тадеєва [11] та інших українських учених. Отримані ними результати пов'язані з розробкою статичних і динамічних моделей взаємозв'язку економіки з навколишнім середовищем, відповідних ринкових механізмів такого взаємозв'язку, сталого розвитку на макрорівні, економічно чистих технологій, виробничих еколого-економічних функцій, економіки природокористування, регіональних еколого-економічних систем, а також методів імітаційного та багатокритеріального моделювання таких систем. Все це позитивно вплинуло на ефективність подальших наукових досліджень у цьому напрямку.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. Як було зазначено раніше, сьогоднішній потенціал наукових результатів у галузі розробки концептуального, теоретичного та прикладного інструментарію дослідження еколого-економічних систем, зокрема їх моделювання, є досить значним і дозволяє на науковому рівні розв'язати чимало завдань, пов'язаних з проблемами еколого-економічної взаємодії та сталого розвитку. Однак динаміка еколого-економічних систем зазвичай є суттєво нелінійною, характеризується багатьма явища-

ми невизначеного типу, зокрема, складно прогнозованими соціально-економічними наслідками для суспільства, тому її подальше дослідження залишається актуальним для економічної науки.

Метою дослідження є розробка моделей еколого-економічної динаміки двосекторної економіки з основним і допоміжним виробництвом, які б дозволили за допомогою експериментальних досліджень виявляти закономірності розвитку та екологізації економічних систем, а також розробляти відповідні сценарії встановлення та перевірки екологічних стандартів, пов'язаних з допустимими обсягами забруднення навколишнього середовища.

Основні результати дослідження. Нижче під двосекторною економікою будемо розуміти економіку, в якій перший сектор займається виробництвом основної матеріальної продукції (сектор основного виробництва), а другий – утилізацією забруднення (виробничих решток), створеного під час виробництва основної продукції (сектор допоміжного виробництва). Надалі будемо їх позначати як сектор I та сектор II. Зрозуміло, що у випадку двосекторної економіки між секторами I та II відбувається певний обмін рештками виробничої діяльності (забрудненням) та коштами на їх утилізацію. Щодо фінансового забезпечення сектору II потрібно зазначити, що крім основного винуватця забруднення (сектору I), до фінансування процесів утилізації може долучитися держава, зацікавлені в екологічній безпеці вітчизняні та міжнародні організації, окремі громадяни і зрештою, сам сектор II у випадку досягнення ним достатнього рівня капіталізації. Отже, є чимало варіантів моделювання процесів утилізації у секторі II, однак нижче ми запропонуємо лише деякі з них. До того ж, будемо використовувати мінімальний рівень так званої економічної структуризації елементів суспільства, які є учасниками досліджуваної двосекторної економіки.

Для опису моделей та пов'язаних з ними результатів будемо вважати, що елементи суспільства представлені такими групами: власниками засобів виробництва та природних ресурсів, тобто капіталу, за допомогою якого здійснюється основне та допоміжне виробництво (M_I та M_{II}) і робітниками сектору I (N_I) та сектору II (N_{II}). У дужках вказана чисельність відповідної групи елементів. Через p_I та p_{II} позначимо відповідно ціну на основну продукцію та тариф на утилізацію забруднення у грошових одиницях (г.о.), які будемо вважати ринковими. Кожний представник (елемент) вищеназваних груп характеризується своїми ліквідними капіталами, які надалі назвемо заощадженнями та позначимо відповідно через z_I, z_{II}, $\tilde{z}_I$, $\tilde{z}_{II}$ (припускається усереднена «рівнозначність» всіх елементів у групі, що дозволяє окремому представнику групи презентувати свою групу). Крім того, для формалізації моделей важливу роль відіграють т.зв. функції економічної поведінки, за допомогою яких вдається не лише змоделювати рівняння динаміки заощаджень відповідних учасників виробничих процесів у секторах I та II, але й процеси взаємодії між секторами економіки, тобто між основним і допоміжним виробництвами. До таких функцій віднесемо функції попиту споживача на основний агрегований продукт q_I, випуску цього продукту f_I, випуску підприємствами сектору I забруднення φ_I, попиту на забруднення представниками сектору II q_{II}, ути-

лізації забруднення у секторі II ψ_{II}. Будемо також вважати, що α_I, α_{II} і $\tilde{\alpha}_I$, $\tilde{\alpha}_{II}$ $(0<\alpha_I,\alpha_{II},\ \tilde{\alpha}_I,\tilde{\alpha}_{II}\le 1)$ – це частки заощаджень, що виділяються споживачами (власниками підприємств секторів I та II і робітниками підприємств секторів I та II) на придбання основної продукції; β_I та β_{II} $(0\le\beta_I,\ \beta_{II}<1)$ – це частки заощаджень власників секторів I та II, що виділяються ними на виробничу діяльність (випуск основної продукції та утилізацію забруднювачів); γ_I $(0<\gamma_I<1)$ – це частка заощаджень власників підприємств сектора I, що виділяється ними на утилізацію забруднення у секторі II. Очевидно, що $0<\alpha_I+\beta_I+\gamma_I\le 1$, $0<\alpha_{II}+\beta_{II}\le 1$. Тоді аргументами функції q_I будуть відповідно купівельні спроможності відповідних споживачів, тобто $s_I=(\alpha_I z_I)/p_I$, $s_{II}=(\alpha_{II}z_{II})/p_I$, $\tilde{s}_I=(\tilde{\alpha}_I\tilde{z}_I)/p_I$, $\tilde{s}_{II}=(\tilde{\alpha}_{II}\tilde{z}_{II})/p_I$, а функції f_I – виробнича спроможність $\bar{s}_I=(\beta_I z_I)/p_I$. Логічно припускати, що обсяг створеного забруднення функціонально залежить від обсягу виробленої основної продукції, що в кінцевому результаті означає його залежність від виділеного на виробництво основної продукції капіталу, тому аргументом функції φ_I також буде виробнича спроможність $\bar{s}_I=(\beta_I z_I)/p_I$. У частинному випадку можна вважати, що $\varphi_I(\bar{s}_I)=\lambda f_I(\bar{s}_I)$, де $\lambda\in(0,1)$ – коефіцієнт випуску забруднення у секторі I.

Якщо попит на утилізацію забруднення визначається лише частиною заощаджень, виділених на утилізацію сектором I, то аргументом функції q_{II} буде спроможність попиту $\hat{s}_{II}=(M_I\gamma_I z_I)/(M_{II}p_{II})$ (при цьому варто мати на увазі, що для підприємств сектора II – це так званий гарантовано оплачуваний попит, який формує доходну частину його бюджету). У тому випадку, коли попит на утилізацію залежить ще й від фінансових засобів, дотацій тощо інших інвесторів, небайдужих до утилізації забруднення та очищення навколишнього середовища, аргументом функції q_{II} буде спроможність $s^*_{II}=\hat{s}_{II}+d/p_{II}$, де d – це величина додаткового капіталу, виділеного на одного власника сектора II і спрямованого на підсилення продуктивності виробництва у секторі II з метою зменшення обсягів забруднення навколишнього середовища та підвищення ефективності процесів утилізації та екологізації економіки у цілому. Аргументом функції утилізації забруднення у секторі II є виробнича спроможність утилізації, яка регулюється лише сектором II, тобто спроможність $\bar{s}_{II}=(\beta_{II}z_{II})/p_{II}$. Отже, як випливає з попередніх викладень, аргументом тієї чи іншої функції економічної поведінки завжди буде відповідна спроможність, зокрема, для зазначених вище функцій – це спроможність щодо споживання основної продукції, її виробництва чи утилізації забруднення.

Перейдемо до формалізації основних співвідношень. Припускаючи, що робітники секторів I та II отримують дохід у вигляді зарплатні c_I та c_{II} (у г.о.), яка оподатковується (ставка податку – π_o), а їх витрати – це вартість попиту на основний агрегований продукт, зміну їх заощаджень можна описати рівняннями

$$\frac{d\tilde{z}_I}{dt} = c_I(1-\pi_0) - p_I q_I(\tilde{s}_I); \quad (1)$$

$$\frac{d\tilde{z}_{II}}{dt} = c_{II}(1-\pi_0) - p_I q_I(\tilde{s}_{II}). \quad (2)$$

Оскільки попит у споживачів на основну продукцію задовольняється виробником, то вартість попиту, яка залишилася після оподаткування (ставка податку π_o), складає дохід виробника. Що стосується його витрат, то вони пов'язані з особистим споживанням основної продукції, а також видатками на утилізацію сектором II частини створеного у секторі I забруднення, зарплатню робітників та податок на неї (ставка π_1), податок на додану вартість (ставка π_2) та відповідні виробничі потреби (λ_I – їхня частка від доданої вартості). Отже, рівняння динаміки заощаджень власника сектора I має вигляд:

$$\frac{dz_I}{dt} = \frac{p_I(1-\pi_0)}{M_I}\left[M_I q_I(s_I) + M_{II} q_I(s_{II}) + N_I q_I(\tilde{s}_I) + N_{II} q_I(\tilde{s}_{II})\right] - \\ - p_I q_I(s_I) - \frac{N_I c_I(1+\pi_1)}{M_I} - p_I(\lambda_I + \pi_2) f_I(\bar{s}_I) - \gamma_I z_I. \quad (3)$$

Щодо рівняння динаміки заощаджень власника утилізаційних підприємств сектору II, то воно, як уже було сказано, може бути побудоване на основі різних концептуальних припущень відносно способів формування капіталозабезпечення утилізаційного виробництва та доходів власника. У одному з випадків будемо припускати, що утилізаційні підприємства сектору II знешкоджують лише забруднення, створене сектором I, тому сектор I повністю забезпечує рентабельну діяльність сектора II, формуючи дохід власника сектора II та його витрати за рахунок відкладеної на утилізаційні заходи кожним власником сектора I частини заощаджень. Тоді неоподаткований дохід власника сектору II конкретизується величиною $p_{II} q_{II}(\hat{s}_{II}) = D_{II}$, оскільки всі підприємства основного виробництва фінансують допоміжне виробництво. Власник підприємств сектора II, як один із споживачів основної продукції, звичайно мусить витрачатись на задоволення свого попиту на неї. З іншого боку, він є тим, хто займається виробничою діяльністю, пов'язаною із знешкодженням виробничих відходів, тому використовує капітал на свою основну (утилізаційну) діяльність, яка оподатковується (ставка π_2) та супроводжується відповідними виробничими витратами (частка витрат λ_{II} від вартості утилізованого забруднення). До витрат також належать відрахування на зарплату робітників сектора II. Якщо вважати, що ставки податків на дохід, фонд заробітної плати та додану вартість такі ж, як і у секторі I, то отримаємо таке рівняння динаміки заощаджень власника допоміжного виробництва:

$$\frac{dz_{II}}{dt} = D_{II}(1-\pi_0) - p_I q_I(s_{II}) - \frac{N_{II} c_{II}(1+\pi_1)}{M_{II}} - p_{II}(\lambda_{II} + \pi_2)\psi_{II}(\bar{s}_{II}). \quad (4)$$

Ціна на основний агрегований продукт, який випускається підприємствами сектора I, звичайно залежить від його пропозиції та попиту на нього, а точніше від їх різниці, тому рівняння для p_I буде таким:

$$\frac{dp_I}{dt} = \theta_I \left[M_I q_I(s_I) + M_{II} q_I(s_{II}) + N_I q_I(\tilde{s}_I) + N_{II} q_I(\tilde{s}_{II}) - M_I f_I(\bar{s}_I) \right], \tag{5}$$

де θ_I – коефіцієнт регулювання ціни.

Тариф на утилізацію виробничих відходів, створених у секторі I, також залежить від їх пропозиції та відповідного попиту, тобто

$$\frac{dp_{II}}{dt} = \theta_{II} \left[M_{II} q_{II}(\hat{s}_{II}) - M_I \varphi_I(\bar{s}_I) \right], \tag{6}$$

де θ_{II} – коефіцієнт регулювання тарифу. У випадку, коли $\varphi_I(\bar{s}_I) = \lambda f_I(\bar{s}_I)$, рівняння (6) набуде вигляду

$$\frac{dp_{II}}{dt} = \theta_{II} \left[M_{II} q_{II}(\hat{s}_{II}) - M_I \lambda f_I(\bar{s}_I) \right]. \tag{7}$$

Логічно вважати, що початкові значення динамічних змінних z_I, z_{II}, $\tilde{z}_I$, $\tilde{z}_{II}$, p_I, p_{II} відомі, а саме

$$\begin{cases} z_I(t_0) = z_I^{(0)},\ z_{II}(t_0) = z_{II}^{(0)},\ \tilde{z}_I(t_0) = \tilde{z}_I^{(0)}; \\ \tilde{z}_{II}(t_0) = \tilde{z}_{II}^{(0)},\ p_I(t_0) = p_I^{(0)},\ p_{II}(t_0) = p_{II}^{(0)}. \end{cases} \tag{8}$$

де момент часу t_0 та величини $z_I^{(0)}$, $z_{II}^{(0)}$, $\tilde{z}_I^{(0)}$, $\tilde{z}_{II}^{(0)}$, $p_I^{(0)}$, $p_{II}^{(0)}$ задані.

Зазначимо, що рівняння (1)–(6) моделі (1)–(6), (8) (чи рівняння (1)–(5), (7) моделі (1)–(5), (7), (8)) як відповідні математичні співвідношення, суттєво залежать від використаних функцій економічної поведінки. Будемо вважати, що ці функції є такими, які забезпечують класичні вимоги до розв'язності задачі Коші для системи звичайних диференціальних рівнянь [10].

Рівняння моделі (1)–(6), (8) можна доповнити рівнянням динаміки неутилізованого забруднення, тобто тієї частини створеного сектором I забруднення, яка поповнює викиди забруднення у навколишнє середовище. Моделювання динаміки цього забруднення (позначимо його обсяг через ζ) важливе у тому плані, що дозволяє з'ясувати закономірності процесу забруднення, його принципово важливі для природи і суспільства етапи, які можуть привести до екологічних катастроф та відповідних наслідків. При моделюванні цього рівняння потрібно врахувати часткову здатність навколишнього середовища до самовідновлення (самоочищення). Цю здатність відобразимо через т.зв. коефіцієнт асиміляції (природного спадання забруднення) μ. Отже, враховуючи що все створене забруднення включає у себе дві складові частини – утилізоване (сектором II і природою) та неутилізоване забруднення, рівняння динаміки для неутилізованого забруднення має вигляд

$$\frac{d\zeta}{dt} = M_I \varphi_I(\bar{s}_I) - M_{II} \psi_{II}(\bar{s}_{II}) - \mu\zeta. \tag{9}$$

Рівняння (9) слід доповнити початковою умовою

$$\zeta(t_0) = \zeta^{(0)}, \tag{10}$$

де $\zeta^{(0)}$ – заданий початковий обсяг неутилізованого забруднення.

Отже, приєднавши до (1)–(6), (8) чи (1)–(5), (7), (8) співвідношення (9), (10), отримаємо модель (1)–(6), (8)–(10) чи (1)–(5), (7)–(10), тобто модель

еколого-економічної динаміки двосекторної економіки з основним і допоміжним виробництвом та контролем динаміки неутилізованого забруднення.

Коротко зупинимося на питанні, пов'язаному із встановленням так званих екологічних стандартів або екологічних обмежень щодо екологічного виробництва. Очевидно, такі стандарти – це певні умови еколого-економічної рівноваги, які регулюються відповідними показниками, зокрема допустимими обсягами неутилізованого забруднення. Тому рівняння (9) у цьому сенсі є вкрай важливим, оскільки воно практично описує динаміку цих обсягів, знаючи яку, можна вказати межі їх допустимості. Крім рівняння (9), обмеження на допустимі обсяги неліквідованого шляхом утилізації виробничого забруднення ще можна задати у вигляді нерівності

$$M_I\varphi_I(\bar{s}_I) - M_{II}\psi_{II}(\bar{s}_{II}) \le \zeta^*, \tag{11}$$

де у загальному випадку величина екологічного стандарту ζ^* залежить від $\bar{s}_I$, $\bar{s}_{II}$, тобто від динамічних змінних z_I, z_{II}, p_I, p_{II}. Оскільки обмеження (11) є нерівністю, його використання ускладнюється при проведенні якісного аналізу моделі та обчислювальних експериментів з нею. У зв'язку з цим, якщо ζ^* є обґрунтованою у еколого-економічному сенсі функцією від $\bar{s}_I$, $\bar{s}_{II}$ чи сталою величиною, то від обмеження (11) можна також перейти до обмеження

$$M_I\varphi_I(\bar{s}_I) - M_{II}\psi_{II}(\bar{s}_{II}) = \zeta^*. \tag{12}$$

Зрозуміло, що обмеження-рівність (12) є зручнішим у прикладних дослідженнях та застосуванні запропонованих моделей, оскільки у деяких випадках (наприклад, у випадку лінійних відносно відповідних фінансових спроможностей функцій економічної поведінки) рівність (12) дозволяє встановити відповідний функціональний зв'язок між певними динамічними змінними та використати його під час знаходження чи аналізу розв'язків запропонованих вище моделей.

Підсумовуючи розгляд питання про встановлення та реалізацію екологічних стандартів двосекторної економіки, динаміка якої формалізована представленими вище моделями, можна запропонувати два сценарії: перший – побудова розв'язків моделі (1)–(6), (8) чи (1)–(5), (7), (8) та перевірка умови (11) чи (12); другий – побудова розв'язків моделі (1)–(6), (8)–(10) чи (1)–(5), (7)–(10) та перевірка умови $\zeta \le \zeta^*$. Кожний з цих сценаріїв допустимий і може бути реалізований за допомогою сучасних комп'ютерно-інформаційних технологій. Крім того, обидва сценарії допомагають розв'язати попутно ще ряд важливих проблем, зокрема, проблему ідентифікації або уточнення похибки значень деяких параметрів моделей, що є надзвичайно важливим і актуальним у випадку моделювання динаміки еколого-економічних систем.

Висновки. Запропоновані в цій праці динамічні моделі двосекторної економіки з основним і допоміжним виробництвом дозволяють формалізувати процеси взаємодії двох секторів економіки, перший з яких займається випуском основної матеріальної продукції, а другий – утилізацією забруднення, створеного в основному виробництві. Змінні та співвідношення моделей відображають мінімальний рівень економічної структуризації елементів суспільства, котрі є учасниками виробничих процесів, ринок цін на основну про-

дукцію та тарифів на утилізацію виробничих решток, процеси забруднення неутилізованими рештками навколишнього середовища. На основі розроблених моделей за допомогою відповідного комп'ютерного та програмного забезпечення можна встановити основні закономірності динаміки економічних систем в умовах їх екологізації та підвищити ефективність підтримки процесів прийняття рішень в економіці з метою встановлення еколого-економічної рівноваги. Крім того, запропоновані моделі дозволяють розробити сценарії встановлення та перевірки екологічних стандартів у економіці, пов'язаних з динамікою лімітованих обсягів забруднення навколишнього середовища.

1. *Герасимчук З.В.* Регіональна політика сталого розвитку : методологія формування, механізми реалізації: Монографія. – Луцьк: Надстир'я, 2001. – 495 с.

Herasymchuk Z.V. Rehionalna polityka staloho rozvytku : metodolohiia formuvannia, mekhanizmy realizatsii: Monohrafiia. – Lutsk: Nadstyria, 2001. – 495 s.

2. *Гринів Л.С.* Екологічно збалансована економіка: проблеми теорії: Монографія. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2001. – 240 с.

Hryniv L.S. Ekolohichno zbalansovana ekonomika: problemy teorii: Monohrafiia. – Lviv: LNU im. I. Franka, 2001. – 240 s.

3. *Ляшенко И.Н., Михалевич М.В., Утеулиев Н.У.* Методы эколого-экономического моделирования. – Нукус: Билим, 1994. – 236 с.

Liashenko I.N., Mikhalevich M.V., Uteuliev N.U. Metody ekologo-ekonomicheskogo modelirovaniia. – Nukus: Bilim, 1994. – 236 s.

4. *Ляшенко І.М.* Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку. – К.: Вища школа, 1999. – 236 с.

Liashenko I.M. Ekonomiko-matematychni metody ta modeli staloho rozvytku. – K.: Vyshcha shkola, 1999. – 236 s.

5. *Месарович М., Пестель Е.* Человечество на повороте. Второй доклад для Римского клуба. – СПб: Нева-ПРЕСС, 1994. – 200 с.

Mesarovich M., Pestel E. Chelovechestvo na povorote. Vtoroi doklad dlia Rimskogo kluba. – SPb: Neva-PRESS, 1994. – 200 s.

6. *Онищенко А.М.* Моделювання еколого-економічної взаємодії в процесі виконання рішень Кіотського протоколу. – Полтава: Полтавський літератор, 2011. – 398 с.

Onyshchenko A.M. Modeliuvannia ekoloho-ekonomichnoi vzaiemodii v protsesi vykonannia rishen Kiotskoho protokolu. – Poltava: Poltavskyi literator, 2011. – 398 s.

7. Пределы роста: Доклад для Римского клуба / Д.Г. Медоуз, Д.Л. Медоуз, Дж. Райндерс, В.В. Беренс. – СПб: Нева-ПРЕСС, 1994. – 153 с.

Predely rosta: Doklad dlia Rimskogo kluba / D.G. Medouz, D.L. Medouz, Dzh. Rainders, V.V. Berens. – SPb: Neva-PRESS, 1994. – 153 s.

8. Проблеми сталого розвитку України. – К.: БМТ, 2001. – 423 с.

Problemy staloho rozvytku Ukrainy. – K.: BMT, 2001. – 423 s.

9. Програма действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. – Женева: Центр «За наше общее будущее», 1993. – 108 с.

Programa deistvii. Povestka dnia na XXI vek i drugie dokumenty konferentcii v Rio-de-Zhaneiro v populiarnom izlozhenii. – Zheneva: Tcentr «Za nashe obshchee budushchee», 1993. – 108 s.

10. *Самойленко А.М., Кривошея С.А., Перестюк М.О.* Диференціальні рівняння у прикладах і задачах: Навч. посібник. – К.: Вища школа, 1994. – 455 с.

Samoilenko A.M., Kryvosheia S.A., Perestiuk M.O. Dyferentsialni rivniannia u prykladakh i zadachakh: Navch. posibnyk. – K.: Vyshcha shkola, 1994. – 455 s.

11. *Тадеєв Ю.П.* Економіко-математичне моделювання та сталий розвиток // Проблеми системного підходу в економіці: Збірник наук. праць НАУ.– 2010.– Вип. 33. – С. 69–73.

Tadeiev Yu.P. Ekonomiko-matematychne modeliuvannia ta stalyi rozvytok // Problemy systemnoho pidkhodu v ekonomitsi: Zbirnyk nauk. prats NAU.– 2010.– Vyp. 33. – S. 69–73.

12. *Форрестер Дж.* Мировая динамика / Пер. с англ. – М.: АСТ; СПб: Terra Fantastica, 2003. – 379 с.

Forrester Dzh. Mirovaia dinamika / Per. s angl. – M.: AST; SPb: Terra Fantastica, 2003. – 379 s.