

ІНТЕГРОВАНІЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ БІОЕКОНОМІЧНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ: ВИЗНАЧЕННЯ ВЕКТОРІВ І ЗАСОБІВ В УПРАВЛІННІ

©2024 ВОСТРЯКОВА В. І.

УДК 338.2:330.342
JEL: D61; O13; Q01; Q57; Q58

Вострякова В. І. Інтегрований підхід до моделювання біоекономічної трансформації: визначення векторів і засобів в управлінні

Завдання біоекономічної трансформації є актуальним вектором розвитку національного господарства України в контексті «зеленого» та сталого відновлення та дотримання міжнародних зобов'язань щодо глобальних змін клімату, зростання попиту на біоресурси, подолання геополітичних викликів та забезпечення продовольчої безпеки. Ефективне використання біологічних ресурсів та валоризація біомаси стає ключовим елементом у формуванні нової економіки, спрямованої на зниження залежності від викопних ресурсів і пом'якшення впливу на зміни клімату. Метою даного дослідження є розробка інтегрованого підходу до моделювання процесів біоекономічної трансформації соціально-економічних систем, що враховує економічні, екологічні та соціальні аспекти сталого розвитку та його використання при прийнятті управлінських рішень на усіх рівнях. Особливу увагу приділено визначенню векторів біоекономічної трансформації та аналізу наявних інструментів управління, що дозволяють адаптувати економіку до нових викликів та сприяти сталому розвитку. Дослідження базується на теоретичному огляді наявних науково обґрунтованих методів і моделей, що включають сценарний підхід, використання моделей загальної та часткової рівноваги, а також оптимізаційних та екологічних моделей. Для аналізу процесів біоекономічної трансформації використано комплексний міждисциплінарний підхід з використанням принципів інтеграційного управління. Дослідження показало, що інтегроване моделювання є важливим інструментом для прогнозування результатів, аналізу та управління процесами біоекономічної трансформації соціально-економічних систем. Застосування інтегрованого підходу дозволяє оцінити взаємозалежність між економічними, екологічними та соціальними аспектами трансформаційних процесів, а також може бути використано для розробки та вдосконалення відповідних стратегій з мінімізацією ризиків і невизначеностей. Результати дослідження мають практичне значення для формування політичних і корпоративних управлінських рішень, спрямованих на забезпечення досягнення цілей сталого розвитку, збереження біологічних ресурсів та створення нових робочих місць. Застосування комплексного підходу в моделюванні біоекономічної трансформації суттєво сприятиме подоланню критично важливих викликів, пов'язаних із забезпеченням продовольчої безпеки, зниженням негативного впливу на довкілля, раціональним використанням природних ресурсів та створенням нових, «зелених» робочих місць. Це дослідження є важливим кроком у розвитку нової економічної моделі України в процесі її «зеленого» відновлення та європейської інтеграції.

Ключові слова: біоекономіка, моделювання, інтегрований підхід, моделі загальної рівноваги, моделі часткової рівноваги, управління.

Рис.: 2. **Табл.:** 1. **Бібл.:** 26.

Вострякова Вікторія Іванівна – кандидат економічних наук, докторант кафедри економіки підприємства та виробничого менеджменту, Вінницький національний технічний університет (Хмельницьке шосе, 95, Вінниця, 21021, Україна)

E-mail: vikazataydukh@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4161-7483>

Researcher ID: <https://www.webofscience.com/wos/author/record/L-8148-2018>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57331123700>

UDC 338.2:330.342
JEL: D61; O13; Q01; Q57; Q58

Vostriakova V. I. An Integrated Approach to Bioeconomic Transformation Modeling: Identification of Vectors and Management Tools

The task of bioeconomic transformation is a relevant vector for the development of the national economy of Ukraine in the context of both green and sustainable recovery and compliance with international obligations on global climate change, the growing demand for biological resources, overcoming geopolitical challenges and ensuring food security. The efficient use of biological resources and the valorization of biomass is becoming a key element in shaping a new economy aimed at reducing dependence on fossil resources and mitigating the impact on climate change. The purpose of this study is to develop an integrated approach to modeling the processes of bioeconomic transformation of socioeconomic systems, which takes into account the economic, environmental and social aspects of sustainable development and its use in managerial decision-making at all levels. Particular attention is paid to the identification of vectors of bioeconomic transformation and the analysis of available management tools that allow adapting the economy to new challenges and promoting sustainable development. The study is based on a theoretical review of available science-based methods and models, including the scenario approach, the use of general and partial equilibrium models, as well as optimization and environmental models. To analyze the processes of bioeconomic transformation, a comprehensive interdisciplinary approach using the principles of integration management was used. The study showed that integrated modeling is an important tool for predicting results, analyzing and managing the processes of bioeconomic transformation of socioeconomic systems. The application of an integrated approach allows to assess the interdependence between economic, environmental and social aspects of transformation processes, and can also be used to develop and improve appropriate strategies with minimization of risks and uncertainties. The results of the study are of practical importance for the formation of political and corporate management decisions aimed at ensuring the achievement of sustainable development goals, the preservation of biological resources and the creation of new jobs. The application of an integrated approach in modeling bioeconomic transformation will significantly contribute to overcoming critical challenges related to ensuring food security, reducing the negative impact on the environment, rational use of natural resources and creating new, «green» jobs. This study is an important step in the development of a new economic model of Ukraine in the process of its green recovery and European integration.

Keywords: bioeconomics, modeling, integrated approach, general equilibrium models, partial equilibrium models, management.

Fig.: 2. **Tabl.:** 1. **Bibl.:** 26.

Тенденцію до розробки стратегій використання біоресурсів у біоекономіці можна розглядати як намір подолання геополітичних викликів XXI століття. Враховуючи динаміку глобального зростання населення та вплив людини на зміни клімату, очевидно, що подальший розвиток супроводжуватиметься зростаючим попитом на продукти харчування, корми для тварин, іншої продукції та енергії, який не може повною мірою бути задоволений використанням сировини і матеріалів небіологічного походження.

Процес трансформації економічної системи є надзвичайно складним, адже передбачає врахування внутрішніх і міжнародних зобов'язань, традиційні та інноваційні підходи, а також різні інтереси суб'єктів економічних відносин. Таке комплексне узгодження вимагає розробки відповідної стратегії та відповідних механізмів та інструментів для підтримки біоекономічної трансформації на усіх рівнях [1]. Нами здійснено огляд низки наявних науково обґрунтованих механізмів та інструментів, що дозволяють системно розглядати виклики та перспективи процесів біоекономічної трансформації.

Упровадження принципів циркулярності та широке впровадження процесів переробки відходів та повторної переробки матеріалів і сировини має значний потенціал до зменшення тиску на використання первинних ресурсів, але навіть з розвитком технологічного прогресу зростаючий попит на викопні ресурси буде достатньо важко суттєво знизити. Зміни клімату та збільшення тиску на навколишнє природне середовище вимагають зміни стратегій та підходів. З цієї причини Європейська Комісія ще у 2012 р. наголосила на необхідності радикально змінити «свої підходи до виробництва, споживання, обробки, зберігання, переробки та утилізації біологічних ресурсів» [2]. Така зміна підходів на основі біоекономічної трансформації допоможе забезпечити:

- ✦ продовольчу безпеку;
- ✦ раціональне використання природних ресурсів;

Роботу виконано в межах ініціативної теми наукового дослідження: «Моделювання процесу формування стратегії управління біоекономічною трансформацією соціально-економічних систем» (№ 0123U102528).

- ✦ зниження залежності від викопних ресурсів;
- ✦ пом'якшення та адаптацію до змін клімату;
- ✦ створення нових, «зелених» робочих місць та підтримку конкурентоспроможності, особливо, але не виключно, у сільській місцевості.

У той час як виклики, які необхідно вирішити, широко відомі та зрозумілі, питання можливих механізмів та інструментів управління процесами біоекономічної трансформації все ще знаходиться в центрі наукових, політичних і суспільних дебатів. Досвід останніх десятиліть підтверджує важливість ролі суспільства в будь-якій успішній трансформації систем. Норми, цінності та моделі поведінки споживачів, а також ступінь сприйняття та підтримки необхідних змін є такими ж важливими, як і технологічні й економічні аспекти. Ці норми та цінності формують бачення того, як має виглядати майбутня біоекономіка країни. Будь-які трансформаційні процеси супроводжуються умовами невизначеності та відповідними, але не завжди відомими та прогнозованими, процесами.

Моделюванню трансформаційних процесів в економіці присвячено низку наукових праць вітчизняних науковців. Проблематика досліджень особливостей моделювання бізнес-процесів у сучасних умовах широко розкрита в працях таких науковців, як Ярмоленко В. О., Буренікова Н. В. [3], Корзаченко О. В. [4], Пономаренко В. С., Мінухін С. В., Знахур С. В. [5], Томашевський О. М., Цегелик Г. Г., Вітер М. Б., Дубук В. І. [6] та ряду інших. Упровадженню біоекономічних підходів у національне господарство та діяльність сільськогосподарських підприємств присвятили свої праці Бугайчук В. В., Грабчук І. Ф. [7], Талавиря М. П., Лимар В. В., Байдала В. В. [8], Федина С. М., Ковальов Б. Л., Ігнатченко В. М. [9], однак моделювання діяльності біоекономічних систем знаходиться в Україні все ще на початковому етапі. Зокрема Байдала В. В. пропонує враховувати макроекономічні фактори при моделюванні розвитку біоекономіки [10], науковці Венажіндене М., Чорна Р. Коваленко О. [11] пропонують власну концепцію моделювання бізнес-процесів, яка може стати основою для коригування системи якості та управління підприємствами біоекономічного сек-

тора. Тоді як закордонні науковці приділяють значну увагу розробці моделей [12–15], що враховують різні аспекти сталості соціально-економічних систем у біоекономіці [16–18] для використання їх результатів у розробці та вдосконаленні біоекономічних стратегій країн – членів ЄС [19; 20].

Незважаючи на значну кількість досліджень та розроблених моделей оцінки та аналізу трансформації соціально-економічних систем, необхідно наголосити на тому, що такі комплексні динамічні системи, якою є біоекономічна система, вимагають холистичного підходу до моделювання процесів її трансформації. Такий підхід повинен одночасно враховувати економічні, екологічні та соціальні складові різних підсистем на різних рівнях управління. Розглянуті розроблені моделі зазвичай є вузьконаправленими, зосередженими на специфічних секторах економіки або не враховують важливі принципи сталості соціально-економічних систем: зв'язок між використанням природних ресурсів і змінами клімату та іншими соціально-економічними процесами. Відповідно, постало питання необхідності використання інтегрованого підходу до моделювання біоекономічної трансформації соціально-економічних систем, який би дозволив моделювати процеси біоекономічної трансформації в умовах невизначеності, що і стало предметом наших досліджень. Важливість вирішення цього питання полягає в потребі розробки ефективних стратегій управління ресурсами, адаптації до кліматичних змін і забезпечення сталого економічного розвитку в контексті біоекономічної трансформації.

Метою даного дослідження є огляд наявних і розробка нових інтегрованих моделей моделювання для забезпечення та підтримки процесу біоекономічної трансформації, що враховують економічні, екологічні та соціальні аспекти розвитку сталого розвитку та відновлення країни.

Дослідження базується на теоретичному огляді наявних науково обґрунтованих методів і моделей, що включають сценарний підхід, використання моделей загальної та часткової рівноваги, а також оптимізаційних та екологічних моделей. Для аналізу процесів біоекономічної трансформації використано комплексний міждисциплінарний підхід з використанням принципів інтеграційного управління.

Останніми десятиліттями для визначення майбутніх перспектив з точки зору управління все частіше використовується сценарний підхід. «Побудова сценаріїв розглядається як діюча альтернатива лінійному плануванню, яке часто характеризується неточністю та неефектив-

ністю при розробці стратегічних планів та прогнозів за умов економічної нестабільності» [21; 22]. Тоді як сценарний підхід дає можливість проектування потенційно можливих перспектив, чітко визнаючи, що можливі різні варіанти розвитку подій та що надійні довгострокові прогнози у сфері біоекономічної трансформації неможливі. Завданням сценарного підходу в управлінні є дослідження та розвиток потенційних або бажаних майбутніх станів і шляхів розвитку соціально-економічних систем.

Одним із усталених підходів в управлінні є поєднання сценаріїв із моделями [12]. Моделювання дає можливість виявити взаємозалежність великої кількості складових соціально-економічних систем: між ресурсами, виробництвом, споживанням, ринками та секторами, а також навколишнім природним середовищем.

Застосування різних методів моделювання в процесі розробки підходів до управління біоекономічною трансформацією може зробити цінний внесок в аналіз потенційних сценаріїв розвитку біоекономіки. Завдяки широким міждисциплінарним і міжгалузевим підходам, а також високому ступеню економічної інтеграції, вимоги до біоекономічних моделей є доволі комплексними та складними. Необхідність комплексного врахування як економічних і екологічних зв'язків, так і майбутніх соціальних змін, є основною складністю розробки цілісного підходу до моделювання біоекономічних процесів. Наразі такого комплексного підходу моделювання біоекономічної трансформації, який міг би охопити всі ці аспекти, не існує [23].

У межах проекту «Методологія системного аналізу для стратегії економіки біологічного походження ЄС» (SAT-BBE) 7-ї рамкової програми ЄС було розроблено структуру та вимоги до моделювання оцінки розвитку біоекономіки. У даному дослідженні, на основі проведеного огляду моделей, визначено залежності в наявних підходах та їх можливе використання для комплексного аналізу біоекономіки. Проведений огляд демонструє, що деякі наявні підходи до моделювання можна пов'язати між собою, однак на розвиток біоекономіки впливає безліч чинників, що значно впливає на складність моделювання (*рис. 1*).

Окрім рушійних факторів-драйверів, необхідно брати до уваги суспільні виклики, забезпечення яких формують суспільні блага. Водночас необхідно враховувати природні (наприклад, брак прісної води, деградація земельних ресурсів) та соціально-економічні (наприклад, рівень освіти, попит на робочу силу) обмеження. Ці дані можна використовувати для розробки політичних і корпоративних стратегій для різних секторів біоекономіки [19]. На

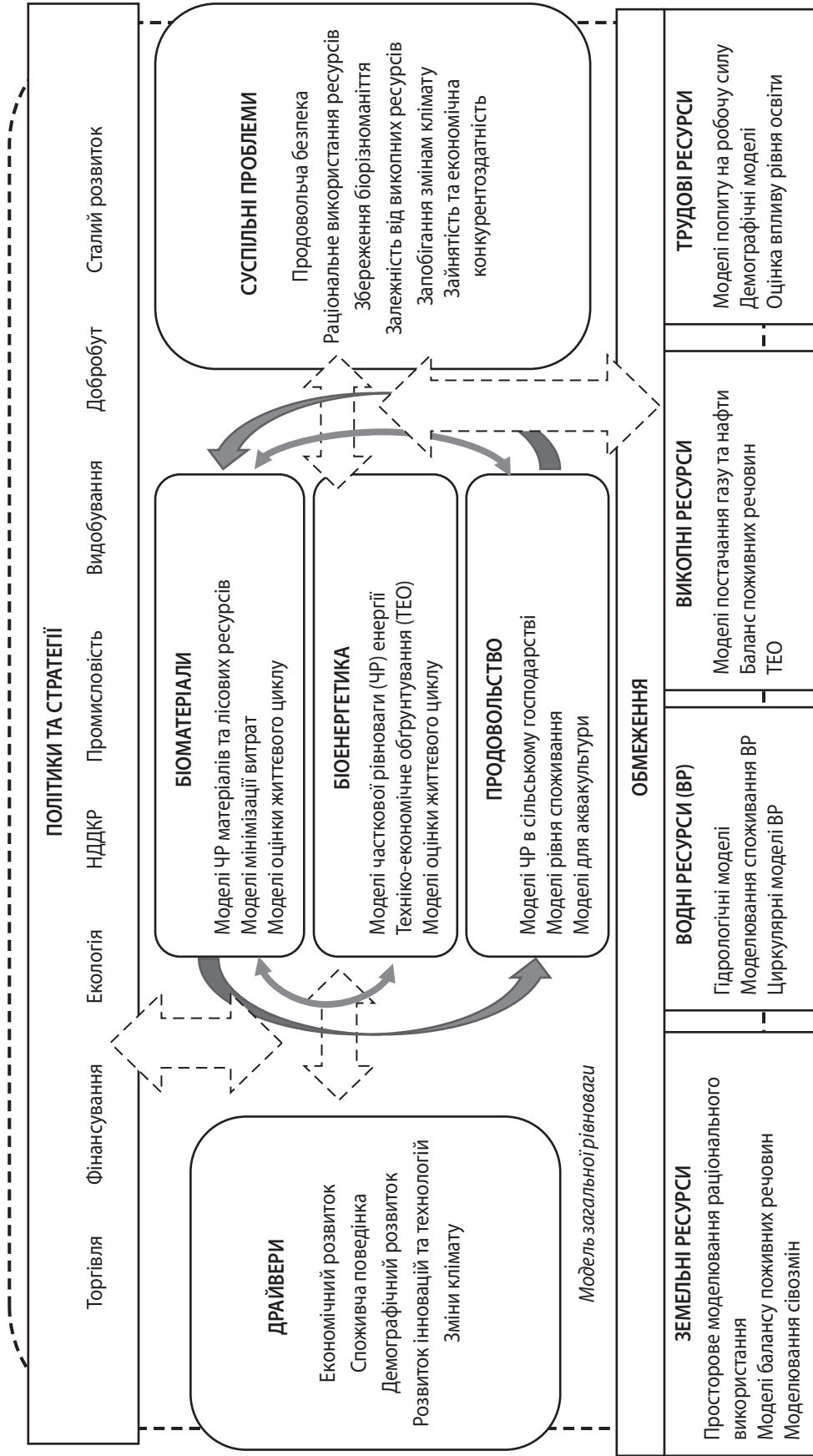


Рис. 1. Основні підходи до моделювання розвитку біоекономіки

Джерело: сформовано автором на основі [19].

основі розробленої схеми можна визначити як суттєві вимоги, так і рівні моделювання для комплексного врахування вищезгаданих зв'язків. У даній системі відображено конкуренцію за біоресурси між енергетичним і продовольчим секторами, що також відображає модель загальної рівноваги Леона Вальраса. Однак більш точну оцінку можливого конкурентного тиску слід проводити на рівні окремого сектора або підприємства (рис. 2).

Прикладами моделей загальної рівноваги є *GTAP* (*Global Trade Analysis Project*), яка враховує зв'язки між різними чинниками [13], *MAGNET* (*Modular Applied General Equilibrium Tool*), що побудована на базі даних *GTAP* і дає можливість оцінити довгострокові ефекти для всієї економіки – від макро- до мікрорівня, включно з ціною [14].

До прикладів моделей часткової рівноваги належить *GLOBIOM* (Глобальна модель управлін-

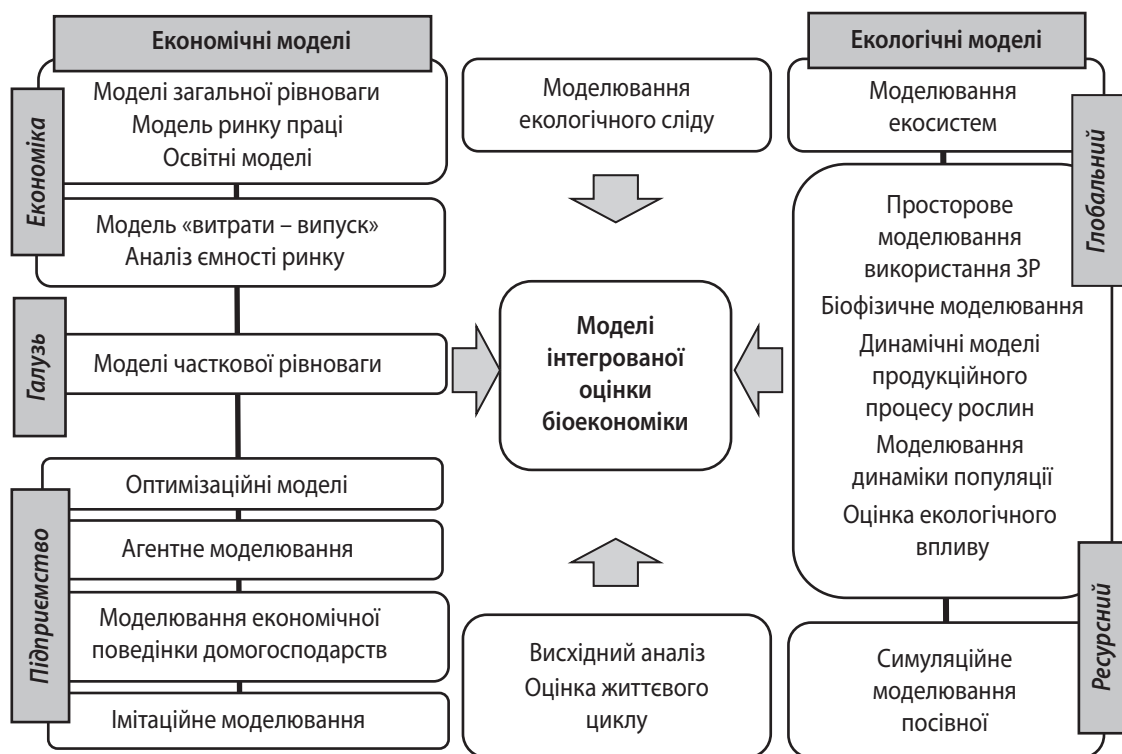


Рис. 2. Групування моделей біоекономічної трансформації залежно від рівня імплементації

Джерело: сформовано автором на основі [19].

Нами представлено огляд різних підходів до економічного моделювання. Попри те, що наведені моделі не були розроблені безпосередньо для моделювання біоекономіки, вони можуть бути використані для моделювання попиту та пропозиції на біомасу. Основну увагу тут зосереджено на макроекономічних моделях загальної та часткової рівноваги, а також на можливості застосування висхідного підходу для детального аналізу конкретних питань у біоекономіці.

Моделі загальної рівноваги базуються на теорії, яка намагається пояснити баланс між попитом і пропозицією. Ці моделі часто використовуються для аналізу в торгівлі. Моделі часткової рівноваги також базуються на цій неокласичній теорії, але вони зосереджені на конкретному ринку чи секторі. Вони корисні для отримання більш детального розуміння конкретного сектора.

біосферою) – це глобальна модель часткової економічної рівноваги для сільського та лісового господарств [15]. За допомогою даної моделі, до прикладу, можна оцінити вплив політики стимулювання розвитку біоенергетики на зміну землекористування, оцінити наслідки впровадження політики пом'якшення наслідків зміни клімату та ін. [24]. Іншою моделлю часткової рівноваги є *CAPRI* (*Common Agricultural Policy Regionalised Impact*) – це просторова модель часткової рівноваги, яка зосереджується на сільськогосподарському секторі Євросоюзу. За допомогою цієї моделі можна аналізувати широкий спектр політичних заходів, враховуючи екологічний вплив на довкілля в процесі сільськогосподарської діяльності та ін.

На мікрорівні також існує значна кількість моделей, які дають можливість аналізувати широкий спектр запитань у рамках біоекономічної транс-

формації. Здебільшого моделі цього рівня аналізують дуже детальні технології та процеси, а також поведінку різних гравців, таких як підприємства та організації. Крім того, існує велика кількість моделей, які працюють на різних просторових рівнях, що може бути корисно у проведенні аналізу доступності та постачання біомаси, досягнення відповідного економічного та екологічного ефектів та визначення обмежень системи. Такі моделі формують детальне обґрунтування конкретних проблем. Однак, як правило, моделі мікрорівня не дають можливості прогнозувати зміну цін на ринку, конкуренцію та технологічні або структурні зрушення за межами відносно вузьких обмежень соціально-економічної системи [13]. Для забезпечення такого функціоналу дані моделі часто поєднують зі згаданими вище моделями загальної або часткової рівноваги.

У сфері біопереробки та на біоенергетичних підприємствах досить поширеними є дві основні проблеми, які важко поєднати в процесі моделювання. З одного боку, для економічно обґрунтованого функціонування виробництво повинно бути доволі масштабним, а з іншого – більші заводи потребують значних обсягів сировини, що, відповідно, збільшує логістичну територію постачання. Логістичні витрати часто відіграють важливу роль в економічній ефективності таких підприємств. Останніми роками було розроблено значну кількість оптимізаційних моделей для визначення потенційних місць розташування біоустановок або біопереробних заводів.

Наведемо приклади моделей техніко-економічної оптимізації ланцюгів постачання біомаси:

- ✦ *BeWhere* – це просторова техніко-економічна інженерна модель для оптимізації систем генерації відновлюваної енергії.

У сфері використання біомаси для енергетичних цілей модель *BeWhere* дає можливість мінімізувати витрати в загальному ланцюгу постачання біомаси, включно з її збором і транспортуванням, перетворенням, транспортуванням та доставкою біопалива, а також продажем тепла та електроенергії. Модель адаптована до використання різної біоенергетичної сировини, проте більше підходить для розрахунків, що включають біопаливо другого покоління, і тому повною мірою охоплює рослинні залишки, відходи лісового господарства та лігно-целюлозні промислові відходи [20].

- ✦ *BiOLOCaTe* (*Biomass value chain integrated Optimization for Location, Capacity, and Technology planning*) – інтегрована оптимізаційна модель ланцюга створення вартості біомаси для планування технологій, розташування та потужності – змішана модель

лінійного програмування, яка використовується для оптимізації ланцюгів постачання біомаси.

Модель техніко-економічного обґрунтування включає процеси постачання, логістики і конверсії та концентрується на прибутку, отриманому від продажу електроенергії та теплової енергії або біоматеріалів. Результати моделювання можуть бути використані для підтримки прийняття рішень на рівні регіонального планування ланцюгів доданої вартості біомаси [18]. Цю модель, на відміну від *BeWhere*, можна використовувати не лише для оцінки систем відновлюваних джерел енергії, а й для систем виробництва біоматеріалів.

Перехід від видобувної сировинної економіки до біоекономіки неминуче приведе до зростання попиту на сільськогосподарську та лісову біомасу. Зі свого боку це може зумовити збільшення виробництва біомаси як в окремих країнах, так і в глобальному масштабі. Найбільший ризик, пов'язаний із біоекономічною трансформацією, – це потенційний конфлікт інтересів зі збереженням довкілля та природних ресурсів. У такому випадку слід враховувати не лише економічні аспекти, але й екологічні наслідки біоекономічної трансформації.

Біофізичні моделі – це моделі, що дають можливість аналізувати біологічні, геологічні та хімічні процеси в екологічних системах. Окремі моделі аналізують вплив систем управління сільським і лісовим господарствами на навколишнє середовище. На початку 2000-х років значну політичну та наукову увагу почали приділяти оцінці сільськогосподарських викидів парникових газів, що привело до поєднання численних економічних моделей із біофізичними моделями на регіональному рівні. Зокрема, розроблені моделі дали можливість оцінити викиди парникових газів із ґрунтів з одночасною оцінкою вартості можливих варіантів заходів пом'якшення негативного впливу. Біофізичні моделі часто поєднують з економічними.

- ✦ *Модель EPIC* (*Environmental Policy and Integrated Climate* – Екологічна політика та інтегрований клімат) спочатку була розроблена для вивчення впливу сільськогосподарського виробництва на ерозію та продуктивність ґрунтів [15].

Модель EPIC, у поєднанні з економічними моделями для оцінки виробництва біомаси в сільському та лісовому господарствах, можна використовувати для вирішення двох основних дослідницьких питань: впливу зміни умов навколишнього середовища на виробництво біомаси, наприклад прогнозована врожайність сільськогосподарських культур, на яку впливає зміна клімату, а також

впливу різних підходів до управління процесу виробництва біомаси на навколишнє природне середовище [25].

Зважаючи на те, що сучасне розуміння біоекономічної трансформації передбачає врахування принципів сталості, пов'язані з нею технологічні рішення, споживаючи ресурси, все ж чинять вплив на навколишнє природне середовище. Вплив на природне середовище, пов'язаний з використанням технологій, певними процесами або продуктами, можна розрахувати та порівняти за допомогою методу стандартизованої оцінки життєвого циклу (*Life cycle assessment – LCA*). Зокрема, для того, аби отримати цілісне уявлення про увесь ланцюг доданої вартості продукту, необхідно розглянути та врахувати весь його життєвий цикл. Згадана методологія є доволі відомою, тож ми зосередимось на інтеграції аспектів землекористування та біорізноманіття в модель оцінки життєвого циклу.

Дослідження «Оцінки екосистем тисячоліття» (*Millennium Ecosystem Assessment – MEA*), що було проведено з 2001 по 2005 рр. під егідою ООН, підкреслило глобальну залежність людства від екосистемних послуг як основи для здорового та безпечного життя. Оскільки близько 50% площі земної кулі піддається сильному впливу людства [26], землекористування має величезний вплив на екосистемні послуги та біорізноманіття. Для того, аби врахувати всі відповідні фактори впливу продукту чи процесу, аспекти землекористування, які впливають на екосистемні послуги та біорізноманіття, мають бути інтегровані в такі методології оцінки життєвого циклу.

До таких методів моделювання відносять *LANCA*[®] (*Land Use Indicator Value Calculation Tool*) – підхід, який використовують для інтеграції впливу процесів/продуктів на екосистемні послуги в оцінку життєвого циклу [16]. Модель *LANCA*[®] передбачає оцінку значень індикаторів, які описують вплив на навколишнє середовище процесів, що потребують використання земельних ресурсів, на різні екосистемні послуги, які потім інтегруються в оцінку життєвого циклу. На основі (гео)екологічних методів розраховуються такі критерії впливу на навколишнє середовище: стійкість до ерозії, механічна фільтрація, фізико-хімічна фільтрація, регенерація підземних вод і біотичне середовище [16].

Суть інтегрованого моделювання оцінки (*Integrated Assessment Models – IAM*) біоекономіки полягає в розробці моделі та оцінці взаємодії між діяльністю людини та природним середовищем. Для забезпечення цієї мети моделі, які відображають функціонування антропогенних і (біо)

фізичних систем, поєднуються. Інтегрування процесу моделювання може стосуватися аналізу узгоджених проблем і зацікавлених сторін, дисциплін, процесів і моделей як у часовому, так і в просторовому масштабах. При цьому використовують міждисциплінарні та інтегровані підходи [13]. Усі описані вище моделі можуть бути частиною такої інтегрованої моделі.

Основна перевага моделей інтегрованої оцінки (ІМО) полягає в тому, що вони дозволяють обмеження тих моделей, які зосереджені на вузьких питаннях, до прикладу, у сільськогосподарському чи енергетичному секторі, без урахування впливу господарської діяльності на (біо)фізичні системи. Поєднуючи різні моделі, ІМО можуть охоплювати низку різних дисциплін і сфер досліджень, включно з економікою, оцінкою балансів енергії, аналізом сільського господарства та біофізикою, таким чином поєднуючи економічний, соціальний та екологічний виміри біоекономічної трансформації. У сфері біоекономіки ІМО дають можливість комплексно спрогнозувати наслідки впровадження певних видів діяльності як для енергетичних, так і для природних систем, таких як використання земельних і водних ресурсів, викиди вуглецю тощо.

Однією із таких добре відомих міждисциплінарних ІМО є *IMAGE* (*Integrated Model to Assess the Global Environment* – Інтегрована модель оцінки глобального навколишнього природного середовища), яка дозволяє моделювати глобальні зміни природного середовища, спричинені діяльністю людини та може бути використана для відображення результатів системного аналізу взаємозв'язків між екологічною та антропогенною системою [17]. *IMAGE* поєднує низку наявних моделей, таких як *MAGNET* (економіка сільського господарства), *GLOBIOM* (біорізноманіття) і *FAIR* (кліматична політика). Метою *IMAGE* є моделювання довгострокової динаміки глобальних змін, спричинених демографічними, технологічними, економічними, соціальними, культурними та політичними факторами.

У табл. 1 наведено вичерпний огляд та узагальнення описаних вище підходів до моделювання біоекономічної трансформації. Сфери застосування розглянутих моделей, разом із їхніми сильними та слабкими сторонами, демонструють, що цілісне уявлення про складний процес біоекономічної трансформації може забезпечити лише використання кількох підходів на різних рівнях моделювання. Цього можна досягти або шляхом поєднання незалежних моделей та підходів, або в рамках їх комплексної інтеграції, моделювання ІМО.

Узагальнення основних характеристик підходів до вивчення холістичного моделювання та оцінки біоекономічної трансформації

	Моделі загальної рівноваги	Моделі часткової рівноваги	Аналіз «знизу – вгору»	Інтегровані моделі оцінки (ІМО)
Застосування	Оцінка впливу політики регулювання обігу біомаси та біоенергії на всю економіку, включно з подальшим впливом на земельні ресурси та викиди парникових газів, спричинені цією політикою. Непряме заміщення, землекористування та ефект відскоку, спричинений різними секторами та факторами виробництва	Оцінка секторального впливу біоенергетичної політики на сільське та лісове господарство, зміни в землекористуванні, енергетичній системі та викидах парникових газів	Аналіз широкого спектра специфічних (технічних) аспектів виробництва, творення та використання біомаси. Валідація інших досліджень, із ширшим масштабом, таких як моделі часткової та загальної рівноваги, ІМО	Оцінка потенціалу біоенергетичних ресурсів за різних припущень (включно з критеріями сталості). Можливий внесок біоенергетики в довгострокову кліматичну політику. Вплив біоенергетичної політики на глобальне землекористування, використання водних ресурсів, збереження біорізноманіття
Час	Коротко- та довгострокове прогнозування	Коротко- та довгострокове прогнозування	Коротко- та довгострокове прогнозування	Довгострокове прогнозування
Сильні сторони	Всебічно охоплює як сектори економіки, так і регіони, із врахуванням відповідних взаємозв'язків. Може чітко моделювати обмежені економічні ресурси. Вимірює загальний, загальноекономічний і глобальний вплив політики у сфері біоенергетики (включно з непрямими ефектами)	Детально охоплює цільові сектори з повним представленням ринку. Чітко репрезентує біофізичні потоки та абсолютні ціни. Охоплює регіональні аспекти, заходи політики та екологічні показники	Дає детальну інформацію про техніко-економічні, екологічні та соціальні характеристики, а також вплив на біологічні системи	Інтегрує різні системи моделювання в одну структуру. Можливість аналізу зворотного зв'язку між системою людина – природа, компромісу та синергії політичних стратегій. Оцінює довгострокову динаміку
Слабкі сторони	Рівень агрегації може маскувати варіації основних складових елементів. Вимагає спрощеного представлення вибору залежних змінних, з переважанням лінійних математичних моделей з невеликою кількістю параметрів, необхідних для калібрування. Часто не включає характеристики біофізичних потоків	Оптимізує залежну змінну, але лише для секторів, включених до моделі. Не враховує макроекономічні баланси та вплив на інші сектори, не представлені в моделі. Потрібна велика кількість припущень для довгострокових прогнозів	Непрямі та індуковані ефекти поза межами моделі не розглядаються, тобто взаємодія з іншими секторами часто навмисно ігнорується	Занадто високий рівень агрегації або занадто складні системи. Не підходить для короткострокових оцінок. Вимагає великої кількості припущень

Джерело: складено автором на основі [13].

Зростання дефіциту викопних ресурсів на дачу до відчутного негативного впливу як на природне середовище, так і на здоров'я людини під час видобутку, виробництва, використання та утилізації, вимагає радикальних змін у поточній стратегії економічного розвитку. Проте трансформація стратегії економічного розвитку, а згодом і усєї економіки, відбувається в складних умовах невизначеності. У нашому випадку ситуація ускладнюється тим, що важко не лише спрогнозувати основні економічні та фізичні взаємозалежності, а й оцінити та врахувати вподобання, інтереси та уявлення про майбутній розвиток біоекономіки широкого кола зацікавлених сторін у суспільстві. З цієї причини важливо розробити ефективний інструментарій ефективно оцінки, планування та прогнозування біоекономічної трансформації.

ВИСНОВКИ

Розробка успішної біоекономічної стратегії в умовах невизначеності потребує володіння широким спектром механізмів та інструментів для передбачення можливих векторів трансформації. Нами узагальнено низку інструментів і засобів, які можуть бути використані для зазначених цілей. У статті розглянуто два широко використовувані в управлінні інструменти: сценарного планування та математичного програмування. Тоді як сценарні методи дають можливість передбачити можливі варіанти розвитку подій, математичні моделі використовують для методів і засобів досягнення запланованого результату. На практиці математичне моделювання часто безпосередньо пов'язане зі сценарним плануванням. Сценарії можуть являти собою альтернативні рішення на основі припущень і результатів математичного моделювання за допомогою різноманітних інструментів, таких як моделі загальної, часткової рівноваги, інтегровані моделі оцінки й екологічні профілі продуктів на основі оцінки життєвого циклу. Оскільки сценарне планування не дає реальних прогнозів на майбутнє, а лише певні уявлення про те, як виглядала б трансформація, якби окремі цілі були досягнуті, та що може відбутися, якщо зміни не запровадити, формування сценаріїв та інтерпретація результатів моделювання особливо важлива для підвищення обізнаності про можливі негативні наслідки. Завдяки міждисциплінарній мережі, обміну та створенню баз даних різні моделі можна зробити більш узгодженими, що приведе до більш узгоджених і реалістичних результатів. Що вища якість вхідних даних для представлення можливих і досяжних майбутніх умов, то реалістичнішим є вихід розглянутих сценаріїв. Це означає, що дискурс в аналітиці, науці, політиці, бізнесі та суспільстві щодо цілей

і системних кордонів глобального майбутнього необхідний для того, щоб змалювати загальну картину нашого майбутнього.

У даному дослідженні нами проведено огляд і систематизацію математичних моделей та їхніх можливостей, а також огляд сильних і слабких сторін основних підходів моделювання біоекономічної трансформації. Існує широкий спектр моделей та інструментів оцінки на всіх рівнях управління, які можна використовувати для підтримки процесу біоекономічної трансформації при використанні їх результатів для сценарного планування. Теорії та підходи до моделювання постійно розвиваються та потребують регулярного перегляду. Усі представлені моделі та інструменти оцінки можуть зробити вагомий внесок у процес управління біоекономічною трансформацією. ■

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Вострякова В. І. Біоекономіка як комплексна система забезпечення сталого розвитку країни. *Бізнес Інформ*. 2023. № 1. С. 167–177. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-1-167-177>
2. Innovating for Sustainable Growth: a Bioeconomy for Europe, EC, 2012. *European Environment Agency*. URL: <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/innovating-for-sustainable-growth-a>
3. Ярмоленко В. О., Буреннікова Н. В. Вимірювання ефективності процесів функціонування компонент системи на основі моделей складових результативності: енергетичний аспект. *Бізнес Інформ*. 2019. № 12. С. 102–110. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-12-102-110>
4. Корзаченко О. В. Моделювання бізнес-процесів підприємств: методології, підходи та методи. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2015. Вип. 11. Ч. 1. С. 171–175.
5. Пономаренко В. С., Мінухін С. В., Знахур С. В. Теорія та практика моделювання бізнес-процесів : монографія. Харків : Вид-во ХНЕУ, 2013. 244 с.
6. Томашевський О. М., Цегелик Г. Г., Вітер М. Б., Дубук В. І. Інформаційні технології та моделювання бізнес-процесів. Київ : ЦУЛ, 2012. 296 с.
7. Бугайчук В. В., Грабчук І. Ф. Біоекономіка та її роль у розвитку сучасного суспільства. *Економіка АПК*. 2018. № 5. С. 110–115. URL: https://eapk.com.ua/web/uploads/pdf/eapk_2018_05_p_5_122-110-116.pdf
8. Talavyria M. P., Lyamar V. V., Baidala V. V. Indicators for Analysis of the Bioeconomy in Ukraine. *Економіка АПК*. 2017. № 3. С. 44–50. URL: https://eapk.com.ua/web/uploads/pdf/e_apk_2017_3_3_-44-50.pdf
9. Федина С. М., Ковальов Б. Л., Ігнатченко В. М. Біоекономіка: сутність поняття, стратегії, стан та

- перспективи розвитку форм в Україні. *Механізм регулювання економіки*. 2019. № 3. С. 16–27.
DOI: <https://doi.org/10.32782/10.21272/mer.2019.85.02>
10. Байдала В. В. Економіко-математичне моделювання впливу макроекономічних факторів на розвиток біоекономіки. *Ефективна економіка*. 2019. № 11.
DOI: [10.32702/2307-2105-2019.11.7](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.11.7)
 11. Венажиндене М., Чорна Р. Коваленко О. Моделювання бізнес-процесів для створення інформаційної системи управління якістю підприємства біоекономіки. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Економічні науки»*. 2023. № 3. С. 244–248.
DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-318-3-38>
 12. Poganietz W. R., Zezza A. et al (eds). Perspectives on agri-culture in transition: analytical issues, modeling approaches, and case study results. Vauk, Kiel, 2000.
 13. Wicke B., Van der Hilst F., Daioglou V. et al. Model collaboration for the improved assessment of biomass supply, demand, and impacts. *Global Change Biologie Bioenergy*. 2015. Vol. 7. Iss. 3. P. 422–437.
DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12176>
 14. Van Meijl H., Smeets E., Van Dijk M. et al. Macro-economic Impact Study for Biobased Malaysia: LEI report. 2012. 56 p. URL: <https://research.wur.nl/en/publications/macro-economic-impact-study-for-bio-based-malaysia>
 15. Izaurre R. C., McGill W. B., Williams J. R. Development and application of the epic model for carbon cycle, greenhouse gas mitigation, and biofuel studies. *Managing Agricultural Greenhouse Gases / Liebig M., Franzluebbers A. J., Follett R. F. (eds.)*. 1st ed. Academic, Cambridge, MA, 2012. P. 293–308.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386897-8.00017-6>
 16. Bos U., Horn R., Beck T., Lindner J. P. LANCA® – Characterization Factors for Life Cycle Impact Assessment. Version 2.0. Fraunhofer, Stuttgart, 2016.
 17. Smeets E., Tabeau A., van Berkum S. et al. The impact of the rebound effect of the use of first generation biofuels in the EU on greenhouse gas emissions: a critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 38. P. 393–403.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.035>
 18. Rudi A., Müller A. K., Fröhling M., Schultmann F. Biomass Value Chain Design: A Case Study of the Upper Rhine Region. *Waste and Biomass Valorization*. 2017. Vol. 8. P. 2313–2327.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9820-x>
 19. Van Leeuwen M., Van Meijl H., Smeets E. Design of a systems analysis tools framework for a EU bioeconomy strategy (Deliverable 3.3): overview of WP3 in the EU FP 7 SAT – BBE project. Funded by the European Commission. DG Research, Brussels. 2015.
 20. Wetterlund E., Leduc S., Dotzauer E., Kindermann G. Optimal use of forest residues in Europe under different policies-second generation biofuels versus combined heat and power. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2013. Vol. 3. P. 3–16.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-012-0054-2>
 21. Бідюк П. І. Методика побудови сценарного аналізу із використанням байєсівських методів. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2012. № 08. С. 137–142. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2012_8_24
 22. Мешко Н. П., Колесник В. В. Сценарний підхід в стратегічному управлінні зовнішньоекономічною діяльністю металургійних підприємств. *Ефективна економіка*. 2017. № 12. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5925>
 23. O'Brien M., Wechsler D., Bringezu S., Schaldach R. Toward a systemic monitoring of the European bioeconomy: Gaps, needs and the integration of sustainability indicators and targets for global land use. *Land Use Policy*. 2017. Vol. 66. P. 162–171.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.04.047>
 24. Kraxner F., Nordström E. M., Havlik P. et al. Global bioenergy scenarios – Future forest development, land-use implications, and trade-offs. *Biomass and Bioenergy*. 2013. Vol. 57. P. 86–96.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.003>
 25. Schwarz-v. Raumer H. G., Angenendt E., Billen N., Jooß R. Economic and ecological impacts of bioenergy crop production – A modeling approach applied in Southwestern Germany. *AIMS Agriculture and Food*. 2017. Vol. 2. Iss. 1. P. 75–100.
DOI: [10.3934/agrfood.2017.1.75](https://doi.org/10.3934/agrfood.2017.1.75)
 26. Hooke R. L., Martín-Duque J. F., Pedraza J. Land transformation by humans: a review. *GSA Today*. 2012. Vol. 22. No. 12. P. 4–10.
DOI: [10.1130/GSAT151A.1](https://doi.org/10.1130/GSAT151A.1)

REFERENCES

- Baidala, V. V. "Ekonomiko-matematychne modeliuвання vplyvu makroekonomichnykh faktoriv na rozvytok bioekonomiky" [The Economic and Mathematical Modeling of Influence of Macroeconomic Factors on the Development of the Bioeconomy]. *Efektivna ekonomika*, no. 11 (2019).
DOI: [10.32702/2307-2105-2019.11.7](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2019.11.7)
- Bidiuk, P. I. "Metodyka pobudovy stsenarnoho analizu iz vykorystanniam baiiesivskykh metodiv" [Method of Scenario Analysis Construction Using Bayes Analysis]. *Elektrotekhnichni ta kompiuterni systemy*, no. 08 (2012): 137-142. http://nbuv.gov.ua/UJRN/etks_2012_8_24
- Bos, U. et al. LANCA® – Characterization Factors for Life Cycle Impact Assessment. Version 2.0. Stuttgart: Fraunhofer, 2016.
- Buhaichuk, V. V., and Hrabchuk, I. F. "Bioekonomika ta yii rol u rozvytku suchasnoho suspilstva" [Bioeconomy and Its Role in the Development of Modern Society]. *Ekonomika APK*, no. 5 (2018): 110-115. https://eapk.com.ua/web/uploads/pdf/eapk_2018_05_p_5_122-110-116.pdf

- Fedyna, S. M., Kovalov, B. L., and Ihnatchenko, V. M. "Bioekonomika: сутність поніації, стратегії, стан та перспективи розвитку форм в Україні" [Bioeconomics: The Essence of the Concept, Strategies, Status and Prospects of Development of Entrepreneurial Forms in Ukraine]. *Mekhanizm rehuliuвання ekonomiky*, no. 3 (2019): 16-27.
DOI: <https://doi.org/10.32782/10.21272/mer.2019.85.02>
- Hooke, R. L., Martin-Duque, J. F., and Pedraza, J. "Land transformation by humans: a review". *GSA Today*, vol. 22, no. 12 (2012): 4-10.
DOI: 10.1130/GSAT151A.1
- "Innovating for Sustainable Growth: a Bioeconomy for Europe, EC, 2012". *European Environment Agency*. <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/innovating-for-sustainable-growth-a>
- Izaurralde, R. C., McGill, W. B., and Williams, J. R. "Development and application of the epic model for carbon cycle, greenhouse gas mitigation, and biofuel studies". In *Managing Agricultural Greenhouse Gases*, 293-308. Cambridge, MA: Academic, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386897-8.00017-6>
- Korzachenko, O. V. "Modeliuвання biznes-protseсів pidpriemstv: metodologii, pidkhody ta metody" [Business Process Modeling: Methodologies, Approaches and Methods]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnogo universytetu. Seriya «Ekonomichni nauky»*, vol. 1, no. 11 (2015): 171-175.
- Kraxner, F. et al. "Global bioenergy scenarios – Future forest development, land-use implications, and trade-offs". *Biomass and Bioenergy*, vol. 57 (2013): 86-96.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.003>
- Meshko, N. P., and Kolesnyk, V. V. "Stsenarnyi pidkhid v stratehichnomu upravlinni zovnishnyoekonomichnoi diialnistiu metalurhiinykh pidpriemstv" [Scenario Approach in Strategic Management of Foreign Economic Activity of Metallurgical Enterprises]. *Efektivna ekonomika*, no. 12 (2017). <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5925>
- O'Brien, M. et al. "Toward a systemic monitoring of the European bioeconomy: Gaps, needs and the integration of sustainability indicators and targets for global land use". *Land Use Policy*, vol. 66 (2017): 162-171.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.04.047>
- Poganietz, W. R. et al. *Perspectives on agri-culture in transition: analytical issues, modelling approaches, and case study results*. Vauk, Kiel, 2000.
- Ponomarenko, V. S., Minukhin, S. V., and Znakhur, S. V. *Teoriia ta praktyka modeliuвання biznes-protseсів* [Theory and Practice of Modeling Business Processes]. Kharkiv: Vyd-vo KhNEU, 2013.
- Rudi, A. et al. "Biomass Value Chain Design: A Case Study of the Upper Rhine Region". *Waste and Biomass Valorization*, vol. 8 (2017): 2313-2327.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9820-x>
- Schwarz-v. Raumer, H. G. et al. "Economic and ecological impacts of bioenergy crop production – A modeling approach applied in Southwestern Germany". *AIMS Agriculture and Food*, vol. 2, no. 1 (2017): 75-100.
DOI: 10.3934/agrfood.2017.1.75
- Smeets, E. et al. "The impact of the rebound effect of the use of first generation biofuels in the EU on greenhouse gas emissions: a critical review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 38 (2014): 393-403.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.035>
- Talavyria, M. P., Lyman, V. V., and Baidala, V. V. "Indicators for Analysis of the Bioeconomy in Ukraine". *Ekonomika APK*, no. 3 (2017): 44-50. https://eapk.com.ua/web/uploads/pdf/e_apk_2017_3_3_44-50.pdf
- Tomashevskiy, O. M. et al. *Informatsiini tekhnologii ta modeliuвання biznes-protseсів* [Information Technologies and Modeling of Business Processes]. Kyiv: TsUL, 2012.
- Van Leeuwen, M., Van Meijl, H., and Smeets, E. *Design of a systems analysis tools framework for a EU bioeconomy strategy (Deliverable 3.3): overview of WP3 in the EU FP 7 SAT – BBE project*. Brussels: DG Research, 2015.
- Van Meijl, H. et al. "Macro-economic Impact Study for Biobased Malaysia: LEI report". 2012. <https://research.wur.nl/en/publications/macro-economic-impact-study-for-bio-based-malaysia>
- Venazhyndene, M., Chorna, R., and Kovalenko, O. "Modeliuвання biznes-protseсів dlia stvorennia informatsiinoi systemy upravlinnia yakistiu pidpriemstva bioekonomiky" [Modeling of Business Processes to Create an Information System for Managing the Quality of a Bioeconomy Enterprise]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. Seriya «Ekonomichni nauky»*, no. 3 (2023): 244-248.
DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-318-3-38>
- Vostriakova, V. I. "Bioekonomika yak kompleksna systema zabezpechennia staloho rozvytku krainy" [Bioeconomy as a Complex System of Ensuring the Country's Sustainable Development]. *Biznes Inform*, no. 1 (2023): 167-177.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2023-1-167-177>
- Wetterlund, E. et al. "Optimal use of forest residues in Europe under different policies-second generation biofuels versus combined heat and power". *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 3 (2013): 3-16.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13399-012-0054-2>
- Wicke, B. et al. "Model collaboration for the improved assessment of biomass supply, demand, and impacts". *Global Change Biologie Bioenergy*, vol. 7, no. 3 (2015): 422-437.
DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12176>
- Yarmolenko, V. O., and Buriennikova, N. V. "Vymiriuvannia efektyvnosti protseсів funktsionuvannia komponent systemy na osnovi modelei skladovykh rezultatyvnosti: enerhetychnyi aspekt" [Measuring the Efficiency of the Processes of Functioning of a Component System Based on the Models of the Efficiency Constituents: The Energy Aspect]. *Biznes Inform*, no. 12 (2019): 102-110.
DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-12-102-110>