

**Галина Олександрівна Ус,***академік АЕН України, д-р екон. наук, професор,*

ORCID 0000-0001-8954-591X

e-mail: us\_galina@ukr.net;

**Богдан Ростиславович Марцішевський,***здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти,*

ORCID 0009-0002-2876-6529

e-mail: martsishevskiy@suem.edu.ua

ПЗВО «Східноєвропейський університет імені Пауфа Аблязова», м. Черкаси

## ВИКОРИСТАННЯ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ В ДОСЯГНЕННІ ГЛОБАЛІЗАЦІЙНИХ ЦІЛЕЙ ЗЕЛЕНОЇ ЕКОНОМІКИ ТА УПРАВЛІННІ ЕКОЛОГІЧНИМ РОЗВИТКОМ БІОРЕСУРСІВ АГРАРНОГО СЕКТОРУ

**Вступ.** Сучасний аграрний сектор функціонує в умовах глибоких глобалізаційних трансформацій, що супроводжуються зростанням міжнародної конкуренції, посиленням інтеграційних процесів, підвищенням вимог до якості та екологічності продукції, а також необхідністю адаптації до кліматичних змін. У цих умовах концепція зеленої економіки набуває стратегічного значення як модель розвитку, спрямована на забезпечення економічного зростання при одночасному збереженні довкілля, раціональному використанні природних ресурсів та підвищенні рівня екологічної безпеки. Реалізація глобалізаційних цілей зеленої економіки потребує науково обґрунтованих підходів до управління природними та біологічними ресурсами, зокрема біоресурсами аграрного сектору, які є основою продовольчої безпеки та експортного потенціалу країни.

Біоресурси аграрного сектору включають сукупність відновлюваних природних ресурсів (грунтові, водні, рослинні, тваринні компоненти), що забезпечують виробництво сільськогосподарської продукції та формують екосистемні послуги. Однак інтенсивний характер землекористування, деградація ґрунтів, зниження біорізноманіття, забруднення водних ресурсів і викиди парникових газів створюють загрози сталому розвитку галузі. Саме тому зростає потреба у впровадженні ефективних інструментів екологічного управління, які дозволяють узгодити економічні інтереси аграрного виробництва з вимогами охорони довкілля та принципами ресурсної стійкості.

Одним із ключових напрямів підвищення ефективності управління екологічним розвитком біоресурсів є використання економіко-математичних методів і моделей. Їх застосування дає змогу кількісно оцінювати вплив виробничих процесів на довкілля, прогнозувати ризики та наслідки управлінських рішень, оптимізувати структуру виробництва та ресурсозабезпечення, а також формувати сценарії розвитку з урахуванням екологічних обмежень і глобальних цілей сталого розвитку. Еконо-

міко-математичне моделювання забезпечує наукову основу для прийняття управлінських рішень на мікро- та макrorівнях, сприяючи підвищенню прозорості, обґрунтованості та результативності екологічної політики в аграрній сфері.

**Постановка проблеми.** Глобалізаційні процеси, які охоплюють економічну, екологічну та соціальну сфери, формують нові вимоги до розвитку аграрного сектору та системи управління його ресурсним потенціалом. Під впливом міжнародних екологічних стандартів, кліматичних викликів, інтеграції до світових ринків і посилення конкурентної боротьби зростає потреба у трансформації аграрного виробництва відповідно до принципів зеленої економіки. Це передбачає не лише забезпечення стабільних темпів економічного зростання, але й зменшення антропогенного навантаження на довкілля, відновлення природних екосистем та раціональне використання біоресурсів.

Водночас аграрний сектор є одним із найбільш природозалежних видів економічної діяльності, адже його ефективність безпосередньо визначається станом ґрунтів, водних ресурсів, біорізноманіття та здатністю екосистем до самовідновлення. Надмірна інтенсифікація сільськогосподарського виробництва, деградація земель, ерозійні процеси, зниження родючості ґрунтів, забруднення водних ресурсів, скорочення біорізноманіття, а також зростання викидів парникових газів створюють загрозу для екологічної безпеки та довгострокової продуктивності аграрного сектору. У таких умовах проблема ефективного управління екологічним розвитком біоресурсів набуває особливої актуальності, оскільки від її вирішення залежить не лише економічна результативність аграрного виробництва, а й продовольча безпека та ресурсна стійкість країни.

Складність зазначеної проблеми полягає у багатofакторності процесів екологічного розвитку, необхідності врахування взаємозв'язків між економічними результатами та екологічними наслідками, а також у наявності суттєвої невизначеності, спричи-



неної природними ризиками і кліматичними змінами. Традиційні підходи до управління аграрними ресурсами часто не забезпечують достатньої точності прогнозування та не дозволяють повною мірою оцінити довгострокові наслідки прийнятих управлінських рішень.

У зв'язку з цим особливої значущості набуває використання економіко-математичних методів і моделей як інструменту обґрунтування управлінських рішень у сфері зеленої економіки та екологічного розвитку біоресурсів аграрного сектору. Застосування оптимізаційних, економічних, прогнозних та імітаційних моделей дає змогу кількісно оцінювати вплив виробничих процесів на довкілля, визначити оптимальні параметри використання ресурсів, мінімізувати екологічні ризики та формувати ефективні сценарії сталого розвитку з урахуванням міжнародних цілей і вимог.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю удосконалення механізмів управління аграрними біоресурсами на основі сучасних економіко-математичних підходів, що дозволяють забезпечити баланс між економічною ефективністю та екологічною безпекою, сприяти реалізації глобалізаційних цілей зеленої економіки та підвищити конкурентоспроможність аграрного сектору в умовах сталого розвитку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У науковій літературі проблематика зеленої економіки та екологізації аграрного сектору розглядається як один із ключових напрямів забезпечення сталого розвитку в умовах глобалізації. Дослідження останніх років акцентують увагу на необхідності інтеграції екологічних пріоритетів у аграрну політику, удосконаленні системи природокористування та переході до ресурсоефективних технологій виробництва. Значна кількість праць присвячена формуванню концептуальних засад зеленої економіки, визначенню її цілей, інструментів і показників результативності, зокрема через призму декарбонізації, циркулярної економіки, «зелених» інновацій і ESG-орієнтованого управління.

Окремий пласт публікацій зосереджений на управлінні біоресурсами аграрного сектору, де підкреслюється роль відновлюваності природних ресурсів, збереження ґрунтового потенціалу, охорони водних екосистем і підтримання біорізноманіття як основи довгострокової продуктивності. У цих дослідженнях поширеним є підхід до біоресурсів як до складної соціо-еколого-економічної системи, для якої характерні нелінійні взаємозв'язки, часові лаги та невизначеність. Тому автори обґрунтовують необхідність використання кількісних методів аналізу, що дозволяють оцінити ефективність природоохоронних заходів і визначити оптимальні траєкторії розвитку агроекосистем.

Вагоме місце у сучасних публікаціях займають економіко-математичні методи як інструмент обґрунтування управлінських рішень у сфері зеленої економіки. Дослідники застосовують оптимі-

заційні моделі для вибору структури посівних площ, розподілу ресурсів, визначення економічно доцільних обсягів виробництва з урахуванням екологічних обмежень. Економічні моделі використовуються для оцінювання впливу факторів інтенсифікації на деградацію ґрунтів, рівень викидів, продуктивність агросистем, а також для аналізу ефективності екологічних регуляторів і стимулів. Прогнозні моделі та сценарний підхід широко представлені у роботах, присвячених адаптації аграрного сектору до кліматичних змін і ризиків, пов'язаних зі зміною температурного режиму, опадів і частоти екстремальних явищ.

Разом із тим, попри наявність значної кількості досліджень, у науковому дискурсі зберігаються дискусійні та недостатньо розкриті аспекти. Зокрема, потребує поглиблення питання комплексної інтеграції економічних та екологічних показників у єдині моделі управління біоресурсами, а також узгодження національних механізмів екологічного розвитку аграрного сектору з глобалізаційними цілями зеленої економіки. Недостатньо систематизованими залишаються підходи до поєднання різних класів моделей (оптимізаційних, імітаційних, економічних) у рамках інтегрованих інструментів підтримки прийняття рішень. Також обмежено висвітлено можливості цифровізації моніторингу біоресурсів та використання великих даних для підвищення точності прогнозування і оцінювання екологічних ефектів.

Отже, аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про високий рівень наукового інтересу до проблем зеленої економіки, екологічного розвитку аграрного сектору та застосування економіко-математичних методів. Водночас наявні прогалини зумовлюють потребу у подальших дослідженнях, спрямованих на розробку інтегрованих моделей управління біоресурсами, які забезпечують досягнення глобалізаційних цілей зеленої економіки та підвищують екологічну й економічну стійкість аграрного сектору.

**Метою статті** є обґрунтування можливостей і переваг застосування економіко-математичних методів і моделей у досягненні глобалізаційних цілей зеленої економіки та в управлінні екологічним розвитком біоресурсів аграрного сектору.

Для досягнення поставленої мети передбачено вирішення таких завдань: визначити місце та значення економіко-математичних методів у системі інструментів зеленої економіки; охарактеризувати основні типи моделей, що можуть використовуватися для екологічного управління біоресурсами; обґрунтувати напрями оптимізації та прогнозування екологічного розвитку аграрного сектору з урахуванням глобальних викликів; визначити перспективи впровадження моделей у практику управління природними ресурсами та аграрною політикою.

Практична значущість дослідження полягає у можливості використання запропонованих підходів для підвищення ефективності управління біоресурс-

сами, мінімізації екологічних втрат та забезпечення конкурентоспроможності аграрного сектору в умовах формування глобального ринку зеленої продукції.

**Виклад основних результатів та їх обґрунтування.** Економіко-математичні методи займають важливе місце в системі інструментів зеленої економіки, оскільки забезпечують науково обґрунтоване, кількісне та прогнозне підґрунтя для прийняття управлінських рішень у сфері сталого розвитку. На відміну від традиційних підходів, що часто базуються на експертних оцінках або загальних економічних показниках, економіко-математичне моделювання дозволяє комплексно враховувати взаємозв'язки між економічною ефективністю, екологічними обмеженнями та соціальними наслідками.

У структурі інструментів зеленої економіки економіко-математичні методи виступають **аналітико-управлінським механізмом**, який поєднує екологічні цілі із практичними сценаріями реалізації через розрахунки, прогнозування та оптимізацію ресурсного використання. Вони використовуються як у державному регулюванні (макрорівень), так і у діяльності підприємств та господарств (мікрорівень), забезпечуючи можливість оцінити ефективність екологічних заходів, визначити допустимі межі використання природних ресурсів і сформулювати стратегії «зеленої» трансформації.

Значення економіко-математичних методів у системі зеленої економіки проявляється у таких напрямках:

#### **1. Оптимізація природокористування та ресурсозбереження.**

Математичні моделі дозволяють знаходити оптимальні варіанти розподілу земельних, водних, енергетичних і біологічних ресурсів із мінімізацією негативного впливу на довкілля та досягненням економічної доцільності.

#### **2. Оцінювання екологічної ефективності та сталості.**

За допомогою кількісних методів можна визначити рівень екологічного навантаження (викиди, деградація ґрунтів, втрати біорізноманіття), оцінювати результативність природоохоронних заходів і порівнювати альтернативні управлінські рішення.

#### **3. Прогнозування ризиків і сценарне планування.**

Використання прогнозних та імітаційних моделей дає змогу передбачати наслідки кліматичних змін, виснаження ресурсів, змін цінних та ринкових умов, а також формувати сценарії сталого розвитку в довгостроковій перспективі.

#### **4. Підтримка прийняття рішень у зеленій політиці та регулюванні.**

Економіко-математичні інструменти забезпечують основу для розробки «зелених» стратегій, програм державної підтримки, систем екологічного оподаткування, субсидування екотехнологій та оцінки їх очікуваних ефектів.

#### **5. Інтеграція екологічних показників у економічний аналіз.**

Застосування моделей дозволяє включати екологічні індикатори у систему оцінки ефективності виробництва, що сприяє переходу від короткострокової економічної вигоди до довгострокової ресурсної та екологічної стійкості.

Отже, економіко-математичні методи є ключовим інструментом реалізації принципів зеленої економіки, оскільки забезпечують можливість **раціонального управління ресурсами, зниження екологічних ризиків і обґрунтованого досягнення глобалізаційних цілей сталого розвитку**, зокрема в аграрному секторі.

Екологічне управління біоресурсами аграрного сектору потребує використання моделей, які дозволяють комплексно враховувати економічні, природні, технологічні та соціальні чинники. Залежно від мети дослідження, структури даних і рівня управління застосовуються різні типи економіко-математичних моделей, кожна з яких має власні можливості та сферу практичного використання.

##### **1. Оптимізаційні моделі.**

Оптимізаційні моделі використовуються для вибору найбільш ефективних управлінських рішень у ситуаціях обмеженості ресурсів (земля, вода, фінанси, біомаса, добрива тощо).

Найчастіше вони застосовуються для: оптимізації структури посівних площ і сівозмін; мінімізації деградації ґрунтів та втрат біорізноманіття; досягнення балансу між прибутковістю та екологічними обмеженнями; розподілу ресурсів між галузями аграрного виробництва.

**Приклад:** модель максимізації прибутку за умови обмеження викидів або збереження родючості ґрунтів.

##### **2. Балансові моделі.**

Балансові моделі дозволяють встановити взаємозв'язок між надходженням та використанням ресурсів у біоресурсній системі. Вони широко використовуються для аналізу матеріальних, енергетичних і екологічних потоків.

Застосовуються для: оцінювання балансу гумусу та поживних речовин у ґрунті; аналізу водного балансу агроландшафтів; розрахунків балансу біомаси та органічних відходів; визначення рівня відтворення природних ресурсів.

**Перевага:** забезпечують системне бачення ресурсної стійкості виробництва.

##### **3. Економетричні моделі.**

Економетричні моделі застосовуються для кількісного аналізу впливу різних факторів на стан біоресурсів і екологічні показники на основі статистичних даних.

Використовуються для: оцінювання впливу інтенсифікації виробництва на деградацію ґрунтів; визначення зв'язку між застосуванням добрив і забрудненням вод; аналізу факторів, що формують

рівень викидів у аграрному секторі; прогнозування урожайності та продуктивності екосистем.

**Особливість:** дозволяють перевіряти гіпотези та встановлювати причинно-наслідкові залежності.

#### 4. Прогнозні моделі.

Прогнозні моделі спрямовані на передбачення майбутнього стану біоресурсів у коротко-, середньо- та довгостроковому періоді. Вони є важливими для стратегічного планування сталого розвитку.

Застосовуються для: прогнозування зміни родючості ґрунтів; оцінювання наслідків кліматичних змін для агроекосистем; прогнозування попиту на біоресурси та екологічні послуги; визначення майбутніх ризиків (посухи, ерозія, зниження біомаси).

**Перевага:** дозволяють завчасно планувати адаптаційні заходи.

#### 5. Імітаційні (симуляційні) моделі.

Імітаційні моделі відтворюють поведінку складних екологічних систем у часі, враховуючи багатофакторний вплив і взаємозалежності між компонентами.

Доцільні для: моделювання функціонування агроекосистем; аналізу наслідків різних сценаріїв землекористування; оцінювання впливу агротехнологій на водні та ґрунтові ресурси; дослідження довгострокових екологічних ефектів.

**Перевага:** дозволяють оцінювати складні процеси, які не можна точно описати аналітично.

#### 6. Сценарні моделі та моделі «what-if» аналізу.

Сценарні моделі застосовуються для оцінювання альтернативних варіантів розвитку системи за різних умов: економічних, кліматичних, технологічних або регуляторних.

Використовуються для: оцінки впливу «зелених» технологій і реформ; порівняння сценаріїв екологізації виробництва; визначення оптимальних стратегій розвитку біоресурсів; аналізу наслідків політичних рішень (квоти, податки, субсидії).

**Цінність:** допомагають приймати рішення в умовах невизначеності.

#### 7. Інтегровані еколого-економічні моделі.

Це комплексні моделі, що поєднують економічні та екологічні показники в єдину систему оцінювання. Вони є найбільш перспективними для управління біоресурсами на рівні регіонів і держави.

Застосовуються для: оцінки еколого-економічної ефективності аграрного виробництва; визначення збалансованості між прибутком і екологічними втратами; обґрунтування політики сталого природокористування; інтеграції ESG-індикаторів у стратегічне планування.

**Перевага:** забезпечують комплексний підхід до управління біоресурсами.

Таким чином, для екологічного управління біоресурсами аграрного сектору можуть застосовуватися **оптимізаційні, балансові, економетричні, прогнозні, імітаційні, сценарні та інтегровані еколого-економічні моделі**, які дозволяють оцінювати стан природних ресурсів, прогнозувати ризики, оптимізувати використання біоресурсів і забезпечувати досягнення цілей зеленої економіки.

Таблиця 1. Узагальнення основних типів моделей для екологічного управління біоресурсами аграрного сектору

Тип моделі	Коротка характеристика	Що дозволяє оцінити / вирішити	Приклад застосування
Оптимізаційні моделі	Дають змогу обрати найкращий варіант рішення за умов обмежених ресурсів та екологічних обмежень	Оптимальний розподіл землі, води, ресурсів; мінімізація витрат і екологічних ризиків	Оптимізація структури посівів із врахуванням обмежень по викидах або деградації ґрунтів
Балансові моделі	Відображають співвідношення між надходженням і використанням ресурсів у системі	Баланс поживних речовин, води, біомаси; оцінка відтворення ресурсів	Розрахунок балансу гумусу в ґрунті або водного балансу агроландшафту
Економетричні моделі	Статистично визначають залежність між факторами та екологічними показниками	Вплив добрив, технологій, клімату на стан ґрунтів, вод, урожайність	Оцінка впливу рівня мінеральних добрив на забруднення вод або ерозію
Прогнозні моделі	Використовуються для передбачення майбутніх змін у біоресурсах і агроекосистемах	Динаміка родючості, урожайності, ризиків деградації; тенденції розвитку	Прогноз зниження родючості ґрунтів або зміни урожайності внаслідок кліматичних змін
Імітаційні (симуляційні) моделі	Моделюють поведінку складних екологічних систем у часі з урахуванням багатьох факторів	Наслідки різних управлінських сценаріїв, взаємозв'язки процесів у системі	Моделювання впливу різних агротехнологій на екосистему (ґрунт-вода-рослини)
Сценарні моделі («what-if»)	Формують кілька варіантів розвитку системи за різних умов	Порівняння стратегій розвитку та оцінка їх екологічних і економічних результатів	Аналіз сценаріїв «традиційне виробництво» vs «екологізація/органічне виробництво»
Інтегровані еколого-економічні моделі	Поєднують економічні та екологічні показники в єдиному механізмі оцінювання	Комплексна ефективність: прибутковість + екологічні наслідки + сталість	Оцінка еколого-економічної результативності аграрної політики або регіонального природокористування

Джерело: авторська розробка

Екологічний розвиток аграрного сектору в умовах глобалізації формується під впливом низки викликів: кліматичних змін, деградації земель, скорочення біорізноманіття, дефіциту водних ресурсів, зростання екологічних стандартів міжнародної торгівлі, а також необхідності декарбонізації виробництва.

У цих умовах оптимізація та прогнозування стають ключовими інструментами стратегічного управління, що дають змогу забезпечити ресурсну стійкість аграрного сектору та виконання цілей зеленої економіки:

### **1. Оптимізація структури землекористування та виробництва.**

Одним із першочергових напрямів є оптимізація землекористування з урахуванням екологічної стійкості. Надмірна спеціалізація та інтенсивне використання земель призводять до ерозії, втрати гумусу та деградації ґрунтів. Тому необхідно застосовувати оптимізаційні моделі для вибору збалансованої структури посівів, впровадження екологічно доцільних сівозмін і зниження навантаження на агроєкосистеми. Це дозволяє не лише підвищити продуктивність, а й забезпечити відновлюваність ґрунтового ресурсу в довгостроковій перспективі.

### **2. Оптимізація використання водних ресурсів і адаптація до дефіциту вологи.**

Глобальне потепління спричиняє зміну режиму опадів і збільшення частоти посух, що робить актуальним напрям оптимізації водокористування. Важливо прогнозувати водний баланс територій та визначати оптимальні режими зрошення, які мінімізують втрати води та запобігають засоленню ґрунтів. Це досягається через балансові й імітаційні моделі, які дозволяють врахувати природно-кліматичні умови й ефективність водозберігаючих технологій.

### **3. Декарбонізація аграрного виробництва та оптимізація викидів.**

Посилення вимог до скорочення викидів парникових газів є одним із ключових глобальних трендів, що впливає на конкурентоспроможність аграрної продукції на світових ринках. Оптимізація викидів може включати мінімізацію використання мінеральних добрив, зменшення енерговитратності технологій, впровадження біоенергетичних рішень та розвиток органічного виробництва. Прогнозні та економічні моделі дозволяють оцінювати вплив технологічних змін на рівень викидів і визначати найбільш ефективні заходи декарбонізації.

### **4. Оптимізація збереження біорізноманіття та екосистемних функцій.**

Втрата біорізноманіття – одна з найсерйозніших екологічних загроз сучасності, яка негативно позначається на стійкості агроєкосистем. У цьому контексті необхідним напрямом є оптимізація просторової організації агроландшафтів (екологічні

коридори, лісосмуги, буферні зони), а також обмеження надмірного хімічного навантаження. Імітаційні та інтегровані моделі дають змогу прогнозувати екологічні наслідки різних сценаріїв землекористування і визначати баланс між виробництвом та збереженням екосистемних послуг.

### **5. Прогнозування деградаційних процесів і ризик-орієнтоване управління.**

У глобальному вимірі аграрний сектор стикається зі зростанням ризиків: ерозія, опустелювання, засолення, зниження родючості ґрунтів. Тому важливим напрямом є прогнозування деградаційних процесів із використанням моделей часових рядів, економічних підходів та індикаторного аналізу. Такий підхід забезпечує можливість раннього виявлення загроз і формування адаптаційних стратегій, що мінімізують екологічні втрати та економічні збитки.

### **6. Сценарне прогнозування розвитку аграрного сектору в умовах глобальної невизначеності.**

Сучасні глобальні виклики (військові ризики, зміни торговельних правил, кризи постачання, коливання цін, кліматичні катастрофи) створюють високу невизначеність. Тому актуальним напрямом є використання сценарних моделей, які дозволяють порівнювати варіанти розвитку: інтенсивне виробництво, екологізація, цифровізація та «зелена» модернізація. Це дає змогу формувати ефективні довгострокові стратегії з урахуванням глобальних тенденцій.

### **7. Інтеграція цифрових технологій та big data у прогнозування екологічного розвитку.**

Сучасний етап розвитку зеленої економіки неможливий без цифровізації. Використання даних дистанційного зондування Землі, GIS-технологій, моніторингових систем, датчиків та великих масивів інформації дозволяє значно підвищити точність прогнозування екологічного стану біоресурсів. Поєднання цифрових даних з економіко-математичними моделями створює основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень у режимі реального часу.

Отже, напрями оптимізації та прогнозування екологічного розвитку аграрного сектору повинні бути орієнтовані на **раціональне землекористування, ефективне водоспоживання, декарбонізацію, збереження біорізноманіття, прогнозування деградаційних процесів, сценарне планування та цифровізацію управління**. Реалізація цих напрямів забезпечує досягнення глобалізаційних цілей зеленої економіки та формує стійкий, конкурентоспроможний і екологічно безпечний аграрний сектор.

У сучасних умовах глобалізації, кліматичних змін і посилення екологічних вимог до аграрного виробництва впровадження економіко-математичних моделей у практику управління природними

ресурсами та аграрною політикою набуває стратегічного значення. Перспективність таких підходів визначається їх здатністю забезпечити науково обґрунтоване планування, підвищити ефективність державного регулювання та підтримати перехід аграрного сектору до принципів зеленої економіки.

**Підвищення якості та обґрунтованості управлінських рішень.** Однією з ключових перспектив є можливість використання моделей як інструменту підтримки прийняття рішень на різних рівнях управління. Завдяки моделюванню стає можливим оцінювати наслідки альтернативних стратегій використання земельних, водних і біологічних ресурсів, визначати оптимальні сценарії розвитку та уникати екологічно небезпечних рішень. Це сприяє переходу від інтуїтивного управління до системного й доказового планування.

**Формування ефективної державної екологічної та аграрної політики.** Економіко-математичні моделі відкривають перспективи удосконалення механізмів державної політики через кількісне обґрунтування регуляторних заходів. Зокрема, моделі можуть застосовуватися для розрахунку економічно доцільних ставок екологічного оподаткування, прогнозування ефектів субсидій на екологізацію виробництва, оцінки результативності програм підтримки органічного землеробства та розвитку біоенергетики. Це дозволяє державі формувати політику, яка одночасно стимулює виробництво та забезпечує збереження ресурсного потенціалу.

**Інтеграція екологічних стандартів і міжнародних вимог у аграрне управління.** У контексті євроінтеграції та глобальних тенденцій важливим напрямом є адаптація аграрного сектору до міжнародних екологічних стандартів, зокрема ESG, принципів сталого розвитку та вимог «зеленої» торгівлі. Моделювання дозволяє прогнозувати наслідки запровадження міжнародних обмежень (наприклад, щодо викидів, використання хімічних речовин, деградації земель), а також оцінювати конкурентоспроможність аграрної продукції в нових умовах.

**Розвиток системи моніторингу, контролю та прогнозування стану біоресурсів.** Перспективним напрямом є поєднання моделей з цифровими системами збору даних (GIS-технології, дистанційне зондування Землі, агрометеорологічні спостереження). Це дозволяє створювати автоматизовані системи управління природними ресурсами, які забезпечують регулярний моніторинг стану ґрунтів, водних ресурсів і біорізноманіття, а також своєчасне прогнозування деградаційних процесів. Таким чином моделі перетворюються на практичний інструмент оперативного реагування та запобігання екологічним втратам.

**Вдосконалення механізмів ресурсоефективного та кліматично стійкого виробництва.** Засто-

сування моделей дозволяє визначати оптимальні технологічні рішення для скорочення ресурсних витрат і підвищення кліматичної стійкості аграрного виробництва. Йдеться про оптимізацію використання води, енергії, добрив, впровадження точного землеробства та оцінку ефективності заходів адаптації до посух, повеней або температурних коливань. Це підвищує довгострокову продуктивність агроєкосистем та зменшує екологічне навантаження.

**Підвищення прозорості та ефективності управління на регіональному рівні.** На регіональному рівні моделювання може стати основою формування програм розвитку територій, екологічної стратегії природокористування та оптимізації структури аграрного виробництва з урахуванням природно-кліматичних особливостей. Використання моделей сприяє більш справедливому та раціональному розподілу ресурсів, забезпечує узгодження інтересів громади, бізнесу та держави.

**Створення інтегрованих систем оцінювання еколого-економічної ефективності.** Важливою перспективою є розвиток інтегрованих моделей, які поєднують економічні показники (прибуток, витрати, продуктивність) з екологічними параметрами (викиди, деградація ґрунтів, рівень відновлюваності біоресурсів). Це дає змогу оцінювати ефективність аграрного сектору не лише у фінансовому вимірі, а й з позицій екологічної безпеки та сталого розвитку.

Перспективи впровадження економіко-математичних моделей у практику управління природними ресурсами та аграрною політикою пов'язані з **підвищенням якості управлінських рішень, розвитком систем моніторингу та прогнозування, адаптацією до міжнародних стандартів, підтримкою декарбонізації та ресурсоефективності, а також формуванням інтегрованих механізмів оцінювання еколого-економічної результативності.** У результаті моделювання стає важливим інструментом забезпечення конкурентоспроможного, екологічно безпечного та стійкого розвитку аграрного сектору.

**Висновки.** У результаті проведеного дослідження встановлено, що досягнення глобалізаційних цілей зеленої економіки та забезпечення екологічного розвитку біоресурсів аграрного сектору потребує застосування науково обґрунтованих інструментів управління, здатних поєднати економічну результативність із вимогами екологічної безпеки та ресурсної стійкості. Одним із найбільш ефективних підходів у цьому контексті є використання економіко-математичних методів і моделей, які дозволяють кількісно оцінювати вплив аграрного виробництва на довкілля, оптимізувати використання ресурсів і прогнозувати довгострокові наслідки управлінських рішень.

Обґрунтовано, що економіко-математичні методи займають ключове місце в системі інструментів зеленої економіки, виконуючи функції аналітичної підтримки, прогнозування, оптимізації та контролю екологічної ефективності. Визначено, що для екологічного управління біоресурсами аграрного сектору можуть застосовуватися оптимізаційні, балансові, економетричні, прогнозні, імітаційні, сценарні та інтегровані еколого-економічні моделі, які забезпечують комплексний аналіз стану агроєкосистем, ресурсних потоків та екологічних ризиків.

Доведено, що актуальними напрямками оптимізації та прогнозування екологічного розвитку аграрного сектору в умовах глобальних викликів є раціоналізація землекористування, підвищення ефективності водокористування, скорочення викидів парникових газів, запобігання деградації ґрунтів, збереження біорізноманіття та впровадження кліматично стійких технологій. Важливим є також застосування сценарного підходу і цифрових технологій (GIS, дистанційний моніторинг, Big Data), що підвищує точність прогнозів та сприяє оперативному управлінню природними ресурсами.

Визначено перспективи практичного впровадження моделей у систему державного управління природними ресурсами та аграрною політикою, зокрема для формування ефективних регуляторних механізмів, удосконалення програм підтримки «зелених» інновацій, інтеграції екологічних стандартів у систему оцінювання ефективності аграрного виробництва та підвищення прозорості управлінських рішень.

Отже, використання економіко-математичного моделювання є необхідною умовою формування конкурентоспроможного, ресурсоефективного та екологічно безпечного аграрного сектору, здатного забезпечити реалізацію глобалізаційних пріоритетів зеленої економіки та сталого розвитку.

**Перспективи подальших досліджень.** Перспективи подальших досліджень у сфері використання економіко-математичних методів і моделей для досягнення глобалізаційних цілей зеленої економіки та управління екологічним розвитком біоресурсів аграрного сектору пов'язані з поглибленням наукового обґрунтування комплексних механізмів оцінювання, прогнозування та оптимізації природокористування в умовах зростаючих екологічних ризиків і кліматичної нестабільності.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Гуцалюк О. М. Особливості розвитку технологій управління діяльністю підприємства. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки*. 2011. Вип. 20. Ч. II. С. 147-151.
2. Гуцалюк О. М. Обґрунтування організаційно-економічного механізму регулювання витрат виробництва продукції підприємств агропромислового комплексу України. *Особливості соціально-економічного поступу національної економіки в умовах інформаційно-технологічних викликів* : колективна монографія. Трускавець : Посвіт, 2020. С. 102-111.
3. Гуцалюк О. М., Бондар Ю. А. Методи регулювання та оптимізації витрат виробництва продукції агросектору в системі управлінського обліку малого і середнього бізнесу. *Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного*

Насамперед перспективним є **розвиток інтегрованих еколого-економічних моделей**, які одночасно враховують виробничі результати аграрного сектору, стан біоресурсів, рівень екологічного навантаження та соціальні ефекти. Такі моделі дозволять більш об'єктивно визначити ефективність аграрного виробництва з позицій сталого розвитку та забезпечать формування збалансованих стратегій управління.

Важливим напрямом є **удосконалення методів кількісної оцінки екологічних збитків і економічних вигод** від впровадження природоохоронних заходів, ресурсозберігаючих технологій та «зелених» інновацій. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку підходів, які дозволяють обґрунтувати економічну доцільність екологізації виробництва та визначити оптимальні стимули для суб'єктів аграрного сектору.

З урахуванням посилення кліматичних викликів перспективним є **моделювання адаптації аграрного сектору до змін клімату**, включаючи прогнозування ризиків посух, деградаційних процесів, зниження урожайності та втрат біорізноманіття. Розвиток сценарних моделей із врахуванням кліматичних, економічних і регуляторних факторів сприятиме підвищенню гнучкості стратегічного планування.

Окремої уваги потребує **поєднання економіко-математичних моделей із цифровими технологіями**, зокрема GIS-інструментами, дистанційним зондуванням Землі, технологіями Big Data та системами моніторингу в реальному часі. Це дозволить підвищити точність оцінювання стану біоресурсів, забезпечити оперативність управлінських рішень та формувати ефективні механізми контролю використання природних ресурсів.

Крім того, до перспективних напрямів належить **розвиток моделей оцінювання відповідності аграрного сектору міжнародним екологічним стандартам та ESG-принципам**, що є важливим для підвищення конкурентоспроможності аграрної продукції на глобальних ринках та залучення «зелених» інвестицій.

Таким чином, подальші дослідження мають бути спрямовані на створення більш комплексних і прикладних моделей, здатних забезпечити ефективне управління біоресурсами, мінімізувати екологічні ризики та сприяти реалізації стратегічних цілей зеленої економіки в аграрному секторі.

університету нафти і газу. Серія: Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості. 2020. № 2 (22). С. 51-59. [https://doi.org/10.31471/2409-0948-2020-2\(22\)-51-59](https://doi.org/10.31471/2409-0948-2020-2(22)-51-59)

4. Гуцалюк О. М., Бондар Ю. А., Чудаєва І. Б., Ус Г. О. Трансформаційні процеси в стратегуванні інноваційно-інвестиційного потенціалу національної економіки в координатах інформаційних змін та захисту інтересів держави. *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки*. 2025. Т. 26. Вип. 75 (2). С. 141-153. [https://doi.org/10.24025/2306-4420.75\(2\).2025.338600](https://doi.org/10.24025/2306-4420.75(2).2025.338600)

5. Hutsaliuk O., Zakharchenko O., Yakusheva O. State and regional policy in the agricultural sector of the national economy of Ukraine. *Збірник наукових праць Черкаського державного технологічного університету. Серія: Економічні науки*. 2022. Вип. 66. С. 5-16. <https://doi.org/10.24025/2306-4420.66.2022.268613>

6. Hryhorak M. Yu., Zakharchenko O. V., Harmash O. M., Trushkina N. V., Lunov L. Ye. Infrastructure provision of industrial waste management in the context of the strategy for recovery of the national economy of Ukraine. *Intellectualization of logistics and Supply Chain Management*. 2022. Vol. 15. P. 19-35. <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2022-15-2>

7. Topalova I., Kassien O., Lozova T., Us H., Riepnova T., Kulakovska T. Impact of globalization processes on changes in technological development in conditions of economic digitalization. *Ad Alta: Journal of Interdisciplinary Research*. 2023. Vol. 13. Iss. 1. Sp. Iss. XXXIII. Pp. 23-28. URL: <https://www.magnanimitas.cz/ADALTA/130133/PDF/130133.pdf>

8. Потапенко В. Г. Стратегічні пріоритети безпечного розвитку України на засадах «зеленої економіки»: монографія / за наук. ред. Є. В. Хлобистова. Київ: НІСД, 2012. 360 с.

9. Бондар Ю. А. Правові засади державної екологічної політики України. *Модернізація вітчизняної правової системи в умовах світової інтеграції*: зб. матеріалів Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Кропивницький, 23-24 червня 2022 р.). Кропивницький: ЛА НАУ, 2022. С. 29-31.

10. Bondar Iu., Starynets O., Neskhodovskyi I., Kaptalan S. Features of the state regulatory policy on bioresource management in the agricultural sector of tourism. *Philosophy, economics and law review*. 2022. Vol. 2, No. 2. P. 110-119. <https://doi.org/10.31733/2786-491X-2022-2-110-119>

Надійшла до редакції 13.01.2026

Прийнята до друку 20.02.2026

Опублікована 20.03.2026

## REFERENCES

1. Hutsaliuk, O. M. (2011). Features of the development of enterprise management technologies. *Scientific works of the Kirovohrad National Technical University. Economic Sciences*, 20, II, 147-151 [in Ukrainian].

2. Hutsaliuk, O. M. (2020). Substantiation of the organizational and economic mechanism for regulating the production costs of enterprises of the agro-industrial complex of Ukraine. *Features of the socio-economic progress of the national economy in the context of information and technological challenges* [Collective monograph]. Truskavets: Posvit [in Ukrainian].

3. Hutsaliuk, O. M., & Bondar, Iu. A. (2020). Methods of regulating and optimizing the production costs of the agricultural sector in the system of management accounting of small and medium-sized businesses. *Scientific Bulletin of the Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas. Series: Economics and Management in the Oil and Gas Industry*, 2(22), 51-59. [https://doi.org/10.31471/2409-0948-2020-2\(22\)-51-59](https://doi.org/10.31471/2409-0948-2020-2(22)-51-59) [in Ukrainian].

4. Hutsaliuk, O. M., Bondar, Iu. A., Chudayeva, I. B., & Us, G. O. (2025). Transformational processes in strategizing the innovation and investment potential of the national economy in the coordinates of information changes and protection of the interests of the state. *Collection of scientific papers of Cherkasy State Technological University. Series: Economic Sciences*, 26(75(2)), 141-153. [https://doi.org/10.24025/2306-4420.75\(2\).2025.338600](https://doi.org/10.24025/2306-4420.75(2).2025.338600) [in Ukrainian].

5. Hutsaliuk, O., Zakharchenko, O., & Yakusheva, O. (2022). State and regional policy in the agricultural sector of the national economy of Ukraine. *Collection of scientific works of Cherkassy State Technological University. Series: Economic sciences*, 66, 5-16. <https://doi.org/10.24025/2306-4420.66.2022.268613>. [in Ukrainian].

6. Hryhorak, M. Yu., Zakharchenko, O. V., Harmash, O. M., Trushkina, N. V., & Lunov L. Ye. (2022). Infrastructure provision of industrial waste management in the context of the strategy for recovery of the national economy of Ukraine. *Intellectualization of logistics and Supply Chain Management*, 15, 19-35. <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2022-15-2> [in Ukrainian].

7. Topalova, I., Kassien, O., Lozova, T., Us, H., Riepnova, T. & Kulakovska, T. (2023). Impact of globalization processes on changes in technological development in conditions of economic digitalization. *Ad Alta: Journal of Interdisciplinary Research*, 13(1), Sp. Iss. XXIII, 23-28. <https://www.magnanimitas.cz/ADALTA/130133/PDF/130133.pdf> [in Ukrainian].

8. Potapenko, V. G. (2012). Strategic priorities of safe development of Ukraine on the basis of the «green economy» [Monograph]. E. V. Khlobystov (Ed.). Kyiv: NISD [in Ukrainian].

9. Bondar, Iu. A. (2022, June 23-24). Legal principles of the state environmental policy of Ukraine. *Modernization of the domestic legal system in the context of world integration* [Collection of materials of the International Scientific-Practical Conference] (pp. 29-31). Kropyvnytskyi: LA NAU [in Ukrainian].

10. Bondar, Iu, Starynets, O., Neskhodovskyi, I., & Kaptalan, S. (2022). Features of the state regulatory policy on bioresource management in the agricultural sector of tourism. *Philosophy, economics and law review*, 2(2), 110-119. <https://doi.org/10.31733/2786-491X-2022-2-110-119> [in Ukrainian].

Received: 13.01.2026

Accepted: 20.02.2026

Published: 20.03.2026

**Ус Г. О., Марцішевський Б. Р. Використання економіко-математичних методів і моделей в досягненні глобалізаційних цілей зеленої економіки та управлінні екологічним розвитком біоресурсів аграрного сектору**

У статті досліджено роль економіко-математичних методів і моделей у досягненні глобалізаційних цілей зеленої економіки та забезпеченні ефективного управління екологічним розвитком біоресурсів аграрного сектору. Актуальність теми

зумовлена посиленням міжнародних вимог до сталого виробництва, декарбонізації, раціонального природокористування та підвищення екологічної відповідальності агробізнесу в умовах глобальної конкуренції й кліматичних викликів.

Розглянуто можливості застосування оптимізаційних, балансових, економетричних, імітаційних та прогнозних моделей для обґрунтування управлінських рішень у сфері використання земельних, водних і біологічних ресурсів, а також для оцінювання наслідків впровадження екологічних інновацій. Обґрунтовано, що використання кількісного моделювання сприяє підвищенню прозорості та результативності управління аграрними біоресурсами, дозволяє визначати пріоритети природоохоронних заходів, мінімізувати витрати та екологічні ризики, прогнозувати зміни продуктивності екосистем і формувати стратегії адаптації до кліматичних змін.

Особливу увагу приділено інтеграції показників екологічної ефективності у систему економічного аналізу (викиди, втрати біорізноманіття, деградація ґрунтів, рівень відновлюваності ресурсів), що забезпечує комплексне бачення ефективності аграрного виробництва. Визначено, що впровадження економіко-математичних підходів дозволяє узгодити національні механізми управління біоресурсами з міжнародними стандартами сталого розвитку та ESG-принципами, а також підвищити рівень екологічної безпеки та ресурсної стійкості аграрного сектору.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою інтегрованих моделей оцінювання екологічних збитків і економічних вигод, а також цифровізацією моніторингу та управління біоресурсами.

*Ключові слова:* зелена економіка, глобалізація, аграрний сектор, біоресурси, сталий розвиток, економіко-математичні методи, моделювання, оптимізація, прогнозування, екологічне управління, екологічна ефективність, ESG-стратегії.

### **Us H., Martsishevskiy B. The use of economic and mathematical methods and models in achieving the globalization goals of the green economy and managing the ecological development of bioresources in the agricultural sector**

The article examines the role of economic and mathematical methods and models in achieving the globalization goals of the green economy and ensuring effective management of the ecological development of bioresources in the agricultural sector. The relevance of the topic is determined by the strengthening of international requirements for sustainable production, decarbonization, rational use of natural resources, and increased environmental responsibility of agribusiness under conditions of global competition and climate challenges.

The paper considers the possibilities of applying optimization, balance, econometric, simulation, and forecasting models to substantiate managerial decisions in the use of land, water, and biological resources, as well as to assess the consequences of implementing environmental innovations. It is substantiated that the use of quantitative modeling increases the transparency and effectiveness of bioresource management in agriculture, makes it possible to determine priorities for environmental measures, minimize costs and environmental risks, forecast changes in ecosystem productivity, and develop strategies for adaptation to climate change.

Particular attention is paid to integrating environmental performance indicators into the system of economic analysis (emissions, biodiversity loss, soil degradation, renewability level of resources), which ensures a comprehensive vision of the efficiency of agricultural production. It is determined that the implementation of economic and mathematical approaches allows harmonizing national mechanisms of bioresource management with international sustainable development standards and ESG principles, as well as increasing the level of environmental safety and resource resilience of the agricultural sector.

Prospects for further research are associated with the development of integrated models for assessing environmental damage and economic benefits, as well as with the digitalization of monitoring and management of bioresources.

*Keywords:* green economy, globalization, agricultural sector, bioresources, sustainable development, economic and mathematical methods, modeling, optimization, forecasting, environmental management, environmental efficiency, ESG strategies.