

**Ніфатова О.М.**

*доктор економічних наук, професор,  
Сумський національний аграрний університет  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9325-6176>*

**Nifatova Olena**

*Sumy National Agrarian University*

**Петричук С.І.**

*кандидат економічних наук, доцент,  
докторант кафедри маркетингу та логістики,  
Сумський національний аграрний університет*

**Petrychuk Svitlana**

*Sumy National Agrarian University*

## ЕМПІРИЧНА ВЕРИФІКАЦІЯ ВПЛИВУ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ БІОЕКОНОМІЧНИХ ПРИНЦИПІВ НА ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ

## EMPIRICAL VERIFICATION OF THE IMPACT OF THE IMPLEMENTATION OF BIOECONOMIC PRINCIPLES ON INCREASING THE LEVEL OF ENVIRONMENTAL RESPONSIBILITY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF ENTERPRISES

**Анотація.** Наукова стаття присвячена актуальній проблематиці емпіричної верифікації впливу імплементації біоекономічних принципів на підвищення рівня екологічної відповідальності та сталого розвитку підприємств. Актуальність дослідження зумовлена нагальною потребою у трансформації економічних моделей у напрямку сталості, зростаючим запитом на корпоративну екологічну відповідальність та недостатністю емпіричних даних щодо ефективності біоекономічних підходів. Мета дослідження полягає в емпіричній верифікації та кількісній оцінці впливу імплементації біоекономічних принципів на підвищення рівня екологічної відповідальності та сталого розвитку підприємств, а також у розробці інтегрованої методології для оцінки ефективності різних біоекономічних практик. Методологічний інструментарій дослідження базується на комплексному застосуванні системного підходу, компаративного аналізу та мультикритеріальної оцінки. Автор здійснює операціоналізацію ключових конструктів дослідження, зокрема біоекономічних принципів, екологічної відповідальності та сталого розвитку підприємств, що дозволяє провести їх квантифікацію та емпіричну верифікацію. Застосування мультикритеріального підходу для оцінки ефективності різних біоекономічних практик

дозволило врахувати такі параметри як зниження викидів парникових газів, економія ресурсів, зниження токсичного впливу на довкілля, економічна ефективність та потенціал масштабування. Результати дослідження демонструють варіативність впливу різних біоекономічних практик на екологічну відповідальність підприємств. Зокрема, виявлено, що біоенергетика має найвищий потенціал зниження викидів парникових газів та масштабування, ферментативні технології показують найвищу економічну ефективність, а біоремедіація забезпечує найвищий рівень зниження токсичного впливу на довкілля. Автор обґрунтовує необхідність інтеграції різних біоекономічних практик у єдину систему для досягнення синергетичного ефекту та значного підвищення загального рівня екологічної відповідальності підприємств. Практична цінність дослідження полягає у розробці методологічного підходу до емпіричної оцінки ефективності біоекономічних практик, що може бути використаний підприємствами для оптимізації своїх стратегій сталого розвитку. Крім того, результати дослідження можуть слугувати основою для розробки державних політик та стимулів, спрямованих на прискорення впровадження біоекономічних принципів у бізнес-практику. Інтеграція економічних, екологічних та соціальних

аспектів у рамках дослідження відповідає сучасним тенденціям до міждисциплінарності у вирішенні комплексних проблем сталого розвитку.

**Ключові слова:** біоекономіка, екологічна відповідальність, сталий розвиток, емпірична верифікація, мультикритеріальний аналіз, біорафінування, біопластики, біоенергетика, ферментативні технології, біоремедіація.

**Постановка проблеми.** Зміна клімату, виснаження природних ресурсів та забруднення навколишнього середовища досягли критичного рівня. Це вимагає невідкладних дій з боку бізнесу для мінімізації негативного впливу на екосистеми. Біоекономічні принципи пропонують потенційне рішення цих проблем, але їх ефективність потребує емпіричного підтвердження. Перехід від лінійної до циркулярної економіки стає імперативом для досягнення сталого розвитку. Біоекономіка, як концепція, що базується на використанні відновлюваних ресурсів та замкнутих циклах виробництва, може стати ключовим елементом цієї трансформації.

Споживачі, інвестори та регулятори все більше уваги приділяють екологічній відповідальності підприємств. Емпірична верифікація впливу біоекономічних принципів на цей аспект діяльності компаній є критично важливою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Емпіричне підтвердження позитивного впливу біоекономічних принципів може каталізувати інвестиції в R&D та впровадження інноваційних екологічно орієнтованих технологій.

Незважаючи на зростаючий обсяг теоретичної літератури з біоекономіки, існує суттєвий дефіцит емпіричних досліджень, які б кількісно оцінювали вплив біоекономічних принципів на конкретні показники діяльності підприємств. Для об'єктивної оцінки впливу біоекономічних ініціатив необхідна розробка та валідація нових методів вимірювання рівня екологічної відповідальності та сталого розвитку підприємств. Такі дослідження відповідають кільком Цілям сталого розвитку ООН, зокрема ЦСР 9 (Індустрія, інновації та інфраструктура), ЦСР 12 (Відповідальне споживання та виробництво) та ЦСР 13 (Боротьба зі зміною клімату). Результати досліджень в зазначеному векторі можуть стати основою для розробки ефективних політик та стимулів, спрямованих на прискорення впровадження біоекономічних принципів у бізнес-практику. Інтеграція економічних, екологічних та соціальних аспектів у рамках дослідження відповідає сучасним тенденціям до міждисциплінарності у вирішенні комплексних проблем сталого розвитку.

В цілому, актуальність даного дослідження обумовлена конвергенцією кількох ключових факторів: нагальність вирішення глобальних екологічних проблем, трансформація економічних моделей у напрямку сталості, зростаючий запит на корпоративну екологічну відповідальність та недостатність емпіричних даних щодо ефективності біоекономічних підходів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз останніх досліджень і публікацій демонструє зростаючий інтерес наукової спільноти до проблематики імплементації біоекономічних принципів та їх впливу на екологічну відповідальність і сталий розвиток підприємств.

Талавирия М.П. та співавтори акцентують увагу на значущості біоекономіки для розвитку сільського господарства, підкреслюючи її потенціал у досягненні цілей сталого розвитку в контексті України [2]. Ця робота закладає фундамент для подальших досліджень у національному контексті. Бутенко В.М. розглядає біоекономіку як механізм досягнення цілей сталого розвитку, що підкреслює міждисциплінарний характер цієї концепції та її інтеграційний потенціал [4]. Дослідження Добрівської М.В. поглиблює розуміння біоекономіки як основи сталого розвитку, надаючи теоретичне підґрунтя для емпіричних досліджень [6]. D'Amato et al. проводять компаративний аналіз різних підходів до сталого розвитку, включаючи зелену економіку, циркулярну економіку та біоекономіку [7]. Це дослідження є ключовим для розуміння позиціонування біоекономіки в ширшому контексті сталого розвитку.

У сфері біотехнологій та їх застосування Nielsen et al. досліджують потенціал ферментативних технологій для сталого розвитку текстильної промисловості [13], демонструючи конкретні приклади імплементації біоекономічних принципів. Cherubini et al. пропонують класифікацію біорафінадних систем [10], що є важливим кроком до стандартизації та операціоналізації біоекономічних практик. Spierling et al. проводять всебічний аналіз впливу біопластиків на екологічні, соціальні та економічні аспекти [11], що є цінним внеском у розуміння комплексного впливу біоекономічних інновацій.

У сфері екологічного менеджменту Melnyk et al. досліджують вплив систем екологічного менеджменту на корпоративні та екологічні показники [20], що є важливим для розуміння механізмів підвищення екологічної відповідальності підприємств. Scholtens розглядає взаємозв'язок між фінансовим сектором та екологією [15], підкреслюючи важливість інтеграції

екологічних факторів у фінансові рішення. Це дослідження є особливо актуальним у контексті розвитку «зелених» фінансових інструментів. Horbach et al. (2012) аналізують детермінанти екоінновацій [18], що є критично важливим для розуміння факторів, які впливають на впровадження біоекономічних принципів на підприємствах. Orlitzky et al. проводять мета-аналіз взаємозв'язку між корпоративною соціальною відповідальністю та фінансовими показниками [19], що надає емпіричне підґрунтя для обґрунтування економічної доцільності впровадження принципів сталого розвитку.

Проведені дослідження наукових здобутків свідчать про мультидисциплінарний характер проблематики та необхідність інтеграції знань з різних галузей для комплексного розуміння впливу біоекономічних принципів на екологічну відповідальність та сталий розвиток підприємств. Водночас, спостерігається дефіцит емпіричних досліджень, які б квантифікували цей вплив, що підкреслює актуальність подальших розвідок у цьому напрямку.

**Мета статті** полягає в емпіричній верифікації та кількісній оцінці впливу імплементації біоекономічних принципів на підвищення рівня екологічної відповідальності та сталого розвитку підприємств, а також у розробці інтегрованої методології для оцінки ефективності різних біоекономічних практик у контексті їх впливу на екологічні, економічні та соціальні показники діяльності підприємств.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Актуальність інтеграції біоекономічних принципів, екологічної відповідальності та сталого розвитку як ключових факторів конкурентоспроможності сучасних підприємств зумовлена парадигмальним зсувом у глобальній економічній системі та екологічному дискурсі.

Біоекономіка, як модель економіки, що базується на використанні відновлюваних біологічних ресурсів для виробництва продуктів, енергії та послуг, стає все більш значущою у контексті глобальних викликів. За даними Європейської Комісії, до 2030 року ринок біоекономіки в ЄС може досягти 2,4 трлн євро, створюючи до 1 млн нових робочих місць [1, 8].

Професор Талавіря М.П. наголошує на тому, що біоекономіка є ключовим елементом у досягненні цілей сталого розвитку, особливо в контексті України, де аграрний сектор відіграє значну роль в економіці [2, с. 175].

Екологічна відповідальність підприємств стає не лише етичним імперативом, але й економічною необхідністю. Дослідження McKinsey

& Company показує, що компанії з високими показниками екологічної, соціальної та управлінської відповідальності (ESG) демонструють вищу фінансову стійкість та рентабельність [3].

У контексті України, Бутенко В.М. зазначає, що впровадження принципів біоекономіки та екологічної відповідальності є критичним для підвищення конкурентоспроможності українських підприємств на глобальному ринку [4, с. 21–22].

Сталий розвиток, як концепція, що інтегрує економічні, соціальні та екологічні аспекти, стає фундаментальною основою стратегічного планування підприємств. Дослідження MIT Sloan Management Review показує, що 60% компаній, які інтегрують принципи сталого розвитку в свою бізнес-стратегію, демонструють вищу рентабельність інвестицій [5].

Добрівська М.В. наголошує на тому, що для аграрного сектору України, перехід до моделі біоекономіки та впровадження принципів сталого розвитку відкриває нові можливості для інновацій та підвищення конкурентоспроможності на міжнародних ринках [6, с. 142].

Інтеграція цих трьох концепцій – біоекономіки, екологічної відповідальності та сталого розвитку – створює синергетичний ефект. Дослідження D'Amato et al. демонструє, що компанії, які одночасно впроваджують ці принципи, показують на 23% вищу ринкову вартість порівняно з конкурентами [7, с. 730].

Для концептуалізації та операціоналізації ключових конструктів дослідження розглянемо їх у контексті сучасних наукових парадигм та емпіричних досліджень (табл. 1).

Біоекономічні принципи базуються на інтеграції біологічних та економічних систем, спрямованій на оптимізацію використання біоресурсів та мінімізацію негативного впливу на довкілля. За даними дослідження EuroRabio, впровадження біоекономічних принципів може знизити викиди парникових газів на 25% до 2030 року в порівнянні з традиційними економічними моделями [8].

Сталий розвиток підприємств – це стратегічний підхід до управління, що забезпечує довгострокову економічну ефективність при одночасному збереженні екологічного балансу та соціальної справедливості. Дослідження World Economic Forum показує, що підприємства, які інтегрують принципи сталого розвитку в свою бізнес-модель, мають на 35% вищу ймовірність довгострокового успіху [9].

Для здійснення компаративного аналізу ефективності різних біоекономічних практик

**Ключові конструкти сучасних наукових парадигм та емпіричних досліджень в галузі біоекономіки**

Принципи	Операціоналізація
Біоекономічні	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Рівень впровадження біотехнологій у виробничі процеси</li> <li>– Частка відновлюваних ресурсів у загальному обсязі сировини</li> <li>– Ефективність використання біомаси</li> <li>– Інвестиції в R&amp;D у сфері біоекономіки</li> </ul>
Екологічна відповідальність	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Обсяг інвестицій в екологічні проекти</li> <li>– Рівень відповідності міжнародним екологічним стандартам (напр., ISO 14001)</li> <li>– Показники зниження екологічного сліду підприємства</li> <li>– Наявність системи екологічного менеджменту</li> </ul>
Сталий розвиток підприємств	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Індекс сталого розвитку підприємства (композитний показник)</li> <li>– Рівень циркулярності економіки підприємства</li> <li>– Показники енергоефективності та ресурсозбереження</li> <li>– Рівень соціальної відповідальності бізнесу</li> <li>– Рівень імплементації Цілей сталого розвитку ООН</li> </ul>

*Джерело: сформовано автором з використанням [4; 6]*

у контексті їх впливу на екологічну відповідальність підприємств необхідно застосувати мультикритеріальний підхід, що враховує як екологічні, так і економічні параметри. Розглянемо ключові біоекономічні практики та їх вплив на екологічну відповідальність підприємств.

Біорафінування передбачає комплексну переробку біомаси для отримання широкого спектру продуктів. Дослідження Cherubini et al. показало, що впровадження технологій біорафінування може знизити викиди парникових газів на 30–50% порівняно з традиційними нафтохімічними процесами [10, с. 541].

Виробництво біопластиків з відновлюваної сировини є перспективним напрямком зниження залежності від нафтохімічної промисловості. Мета-аналіз, проведений Spierling et al., показав, що використання біопластиків може знизити вуглецевий слід продукції на 20–80% залежно від типу сировини та технології виробництва [11, с. 485].

Найбільш вагомими об'єми біопластиків використовуються в пакувальній індустрії. Сумарний обсяг виробництва пакувальних матеріалів демонструє стійку тенденцію до зростання. Прогнозується збільшення з 2182 тис. тонн у 2023 році до 7432 тис. тонн у 2028 році, що відповідає сукупному темпу річного зростання приблизно 27,8% (рис. 1).

Спостерігається поступовий зсув у співвідношенні між біорозкладними та небіорозкладними матеріалами. Якщо у 2023 році частка біорозкладних матеріалів становила 52%, то до 2028 року прогнозується її збільшення до 62%. Виробництво біорозкладних матеріалів демонструє більш високі темпи зростання. Прогнозується збільшення з 1135 тис. тон у 2023 році до 4605 тис. тон у 2028 році, що відповідає річ-

ному зростанню близько 32,4%. Хоча виробництво небіорозкладних матеріалів також зростає, темпи цього зростання є нижчими, на рівні 22% річних.

Зазначені дані свідчать про парадигмальний зсув у індустрії пакувальних матеріалів у бік біорозкладних альтернатив.

Проаналізувавши надані дані щодо світових тенденцій виробництва основних видів біопластику за період 2023–2028 років, можна зробити наступні висновки. Спостерігається значне збільшення частки біорозкладних пластиків у загальному обсязі виробництва – з 51,9% у 2023 році до 61,9% у 2028 році. Це відповідає абсолютному приросту в 10 процентних пунктів і відносному зростанню на 19,3% (рис. 2).

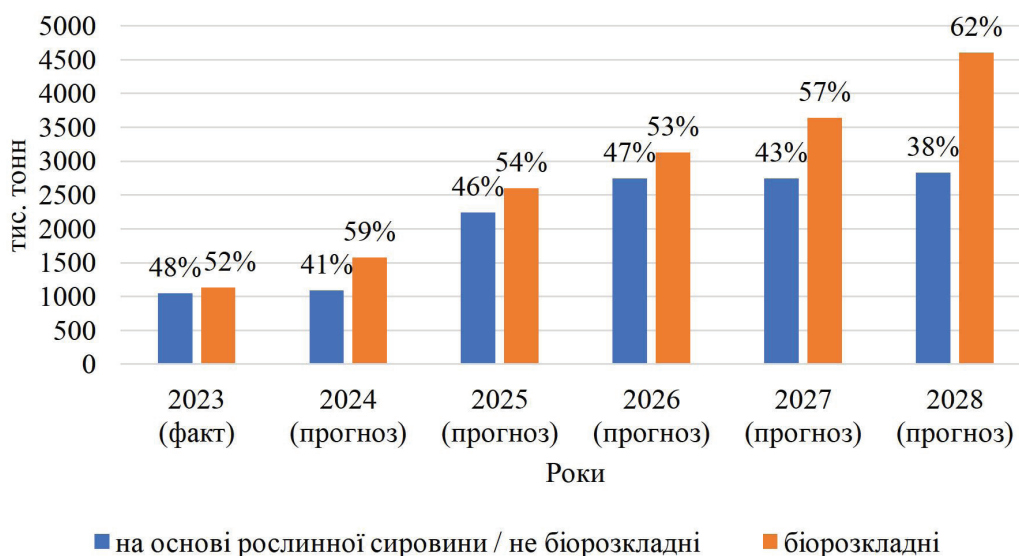
Полілактид (PLA) демонструє найбільше зростання і домінування серед біопластиків. Його частка зростає з 31,0% у 2023 році до 43,6% у 2028 році, що відповідає відносному зростанню на 40,6%. Це може свідчити про технологічні прориви у виробництві PLA та/або зростання попиту на біопластики на основі кукурудзяного крохмалю.

Полігидроксиалканоати (PHA) демонструють найбільше відносне зростання – з 4,8% до 13,5%, що відповідає збільшенню на 181,3%. Це може вказувати на значний прогрес у біотехнологіях виробництва PHA та потенційне розширення сфер їх застосування.

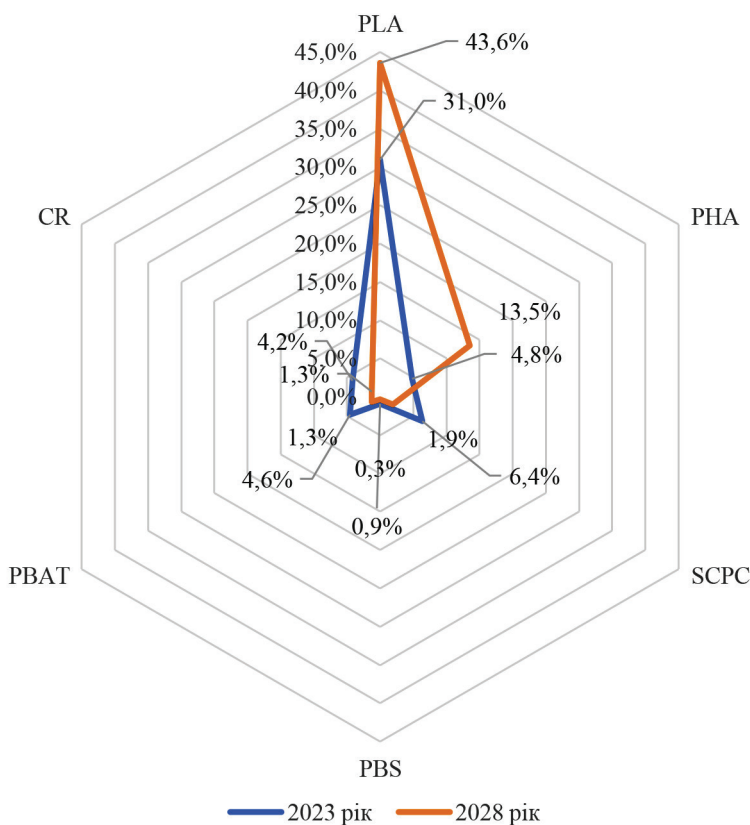
Спостерігається значне зниження часток SCPC (з 6,4% до 1,9%), PBS (з 0,9% до 0,3%), PBAT (з 4,6% до 1,3%) та CR (з 4,2% до 1,3%). Це може свідчити про переорієнтацію ринку на більш ефективні або економічно вигідні альтернативи.

Сумарна частка PLA та PHA зростає з 35,8% у 2023 році до 57,1% у 2028 році, що вказує





**Рис. 1. Прогноз світового виробництва біорозкладного пакувального матеріалу протягом 2023–2028 років**  
 Джерело: побудовано автором з використанням [22; 23]



**Рис. 2. Основні види біорозкладного пластику**

Джерело: побудовано автором з використанням [22; 23]

на консолідацію ринку навколо цих двох типів біопластиків.

Використання біомаси для виробництва енергії є одним з ключових напрямків біоекономіки. Згідно з дослідженням International Energy Agency, біоенергетика може забезпечити до 17%

глобального попиту на енергію до 2060 року, сприяючи значному зниженню викидів CO<sub>2</sub> [12].

Nielsen P. H. et al., стверджує, що інтеграція біоенергетичних систем у промислові процеси є критичним фактором підвищення енергоефективності та екологічної відповідальності під-

приємств. Так, застосування ферментативних технологій у промисловості дозволяє знизити енергоспоживання та мінімізувати утворення токсичних побічних продуктів. Проведені дослідження демонструють, що використання ферментів у текстильній промисловості може знизити споживання води на 20–30% та енергії на 25–40% [13, с. 383].

Використання мікроорганізмів для очищення забруднених територій є ефективним методом відновлення екосистем. Мета-аналіз, проведений Juwarkar et al., показав, що біоремедіація може бути на 30–50% ефективнішою та на 20–40% дешевшою порівняно з традиційними методами очищення ґрунтів та водою [14, с. 233].

Для оцінки ефективності різних біоекономічних практик використаємо мультикритеріальний підхід, враховуючи наступні параметри:

- зниження викидів парникових газів (%);
- економія ресурсів (%);
- зниження токсичного впливу на довкілля (бали від 1 до 10);
- економічна ефективність (ROI, %);
- потенціал масштабування (бали від 1 до 10) (табл. 2).

Компаративний аналіз демонструє, що різні біоекономічні практики мають варіативний вплив на екологічну відповідальність підприємств, що зумовлює необхідність їх комплексного застосування для досягнення максимального ефекту.

Біоенергетика демонструє найвищий потенціал зниження викидів парникових газів та масштабування, що робить її пріоритетним напрямком для підприємств, орієнтованих на зниження вуглецевого сліду. При цьому ферментативні технології показують найвищу економічну ефективність, що може сприяти їх швидкому впровадженню в промисловості. Біоремедіація, хоча і має нижчий потенціал масштабування, демонструє найвищий рівень зниження токсичного впливу на довкілля, що

робить її критично важливою для підприємств з високим рівнем забруднення.

Біорафінування та біопластики займають проміжне положення за більшістю параметрів, що свідчить про їх збалансованість та потенціал для широкого впровадження в різних галузях промисловості.

Інтеграція різних біоекономічних практик у єдину систему може забезпечити синергетичний ефект, значно підвищуючи загальний рівень екологічної відповідальності підприємств [21]. Наприклад, емпіричні дослідження демонструють ефективність інтеграції екологічних критеріїв у фінансові інструменти. Згідно з Scholtens B., «зелені» облігації сприяють підвищенню екологічної відповідальності компаній-емітентів [15, с. 505]. Це обґрунтовує необхідність розробки та впровадження інноваційних фінансових інструментів, орієнтованих на сталий розвиток.

Дослідження Bosquet V. вказує на позитивний вплив екологічних податків на зниження викидів CO<sub>2</sub> та підвищення енергоефективності підприємств [16, с. 32]. Однак, важливо забезпечити баланс між фіскальним тиском та стимулюванням інновацій. При цьому аналіз, проведений Martin et al., показує, що системи торгівлі викидами можуть бути ефективним інструментом зниження емісії парникових газів також і на мікрорівні [17, с. 147–148]. Що в свою чергу обґрунтовує доцільність розширення та вдосконалення таких систем. Згідно з дослідженням Horbach et al., регуляторні інструменти та ринкові стимули значно впливають на інтенсивність екоінновацій у компаніях [18, с. 122]. Це підкреслює важливість створення сприятливого інноваційного середовища.

Мета-аналіз Orlitzky et al. демонструє позитивний зв'язок між розвитком корпоративної соціальної відповідальності (КСВ) та фінансовими показниками компаній [19, с. 440]. Це обґрунтовує необхідність інтеграції КСВ у стратегію сталого розвитку підприємств.

Таблиця 2

**Сучасні біоекономічні практики та їх вплив на екологічну відповідальність підприємств**

Практика	Зниження викидів	Економія ресурсів	Зниження токс. впливу	Екон. Ефективність	Потенціал масштабування
Біорафінування	40%	35%	8	15%	9
Біопластики	45%	30%	7	10%	8
Біоенергетика	50%	25%	6	20%	10
Ферментивні технології	35%	40%	9	25%	7
Біоремедіація	20%	50%	10	15%	6

Джерело: сформовано автором з використанням [10–14]

Дослідження Melnyk et al. показує, що сертифікація за стандартом ISO 14001 позитивно впливає на екологічні та економічні показники підприємств [20, с. 345–346]. Це підкреслює важливість розробки та впровадження міжнародних стандартів екологічного менеджменту.

**Висновки.** Синергетична інтеграція біоекономічних принципів, екологічної відповідальності та сталого розвитку формує новий патерн конкурентоспроможності підприємств у глобальному економічному ландшафті. Емпіричні дослідження демонструють позитивну кореляцію між імплементацією цих концепцій та фінансовими показниками підприємств, що свідчить про їх критичну роль у забезпеченні довгострокової стійкості бізнесу.

Трансформація бізнес-моделей у напрямку біоекономіки та екологічної відповідальності стає не лише етичним імперативом, але й економічною необхідністю в умовах зростаючих екологічних викликів та зміни преференцій стейкхолдерів. Інтеграція цих принципів вимагає системного підходу та переосмислення всіх аспектів діяльності підприємства – від виробничих процесів до корпоративної культури.

Компаративний аналіз показує, що біоекономічні практики мають значний потенціал для підвищення екологічної відповідальності підприємств. Використання біотехнологічних інновацій, агроекологічних практик, переробки біомаси та водозберігаючих технологій сприяє зниженню викидів парникових газів, збереженню природних ресурсів та покращенню екологічних показників.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку інтегрованих метрик та моделей оцінки впливу біоекономічних принципів, екологічної відповідальності та сталого розвитку на довгострокову конкурентоспроможність підприємств у різних галузях та географічних регіонах.

### Література:

1. European Commission. A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Brussels : EC Publications, 2018.
2. Талавиря М. П., Талавиря О. М., Вашенко В. В. Вплив біоекономіки на розвиток сільського господарства. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького*. 2014. Т. 16. №1(2). С. 168–177.
3. McKinsey & Company. The ESG premium: New perspectives on value and performance. McKinsey Quarterly, June 2023.
4. Бутенко В. М. Біоекономіка як механізм досягнення цілей сталого розвитку. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2016. №1. С. 19–28.
5. Unruh G., Kiron D., Kruschwitz N., Reeves M., Rubel H., Zum Felde A. M. Investing for a sustainable future. *MIT Sloan Management Review*. 2016. No. 57(4).
6. Добрівська М. В. Біоекономіка як основа сталого розвитку. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Економіка, аграрний менеджмент, бізнес*. 2013. Вип. 181. Ч. 4. С. 142–146.
7. D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M., Lähtinen K., Korhonen J., Toppinen A. Green, circular, bio economy : a comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*. 2017. No. 168. Pp. 716–734.
8. EuropaBio. The European Bioeconomy in 2030: Delivering Sustainable Growth by addressing the Grand Societal Challenges. Brussels : EuropaBio – The European Association for Bioindustries, 2022.
9. World Economic Forum. The Global Risks Report 2024. Geneva: World Economic Forum, 2024.
10. Cherubini F., Jungmeier G., Wellisch M., Willke T., Skiadas I., Van Ree R., de Jong E. Toward a common classification approach for biorefinery systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2009. No. 3(5). Pp. 534–546.
11. Spierling S., Knüpfner E., Behnsen H., Mudersbach M., Krieg H., Springer S., Endres H. J. Bio-based plastics – a review of environmental, social and economic impact assessments. *Journal of Cleaner Production*. 2018. No. 185. Pp. 476–491.
12. International Energy Agency. Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. IEA, Paris. 2021.
13. Nielsen P. H., Kuilderd H., Zhou W., Lu X. Enzyme biotechnology for sustainable textiles. In *Textiles and Fashion*. Woodhead Publishing. 2017. Pp. 377–392.
14. Juwarkar A. A., Singh S. K., Mudhoo A. A comprehensive overview of elements in bioremediation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 2010. No. 9(3). Pp. 215–288.
15. Scholtens B. Why finance should care about ecology. *Trends in Ecology & Evolution*. 2017. No. 32(7). Pp. 500–505.
16. Bosquet B. Environmental tax reform: does it work? A survey of the empirical evidence. *Ecological Economics*. 2000. No. 34(1). Pp. 19–32.
17. Martin R., Muûls M., Wagner U. J. The impact of the European Union Emissions Trading Scheme on regulated firms: What is the evidence after ten years? *Review of Environmental Economics and Policy*. 2016. No. 10(1). Pp. 129–148.
18. Horbach J., Rammer C., Rennings K. Determinants of eco-innovations by type of environmental impact – The role of regulatory push/pull, technology push and market pull. *Ecological Economics*. 2012. No. 78. Pp. 112–122.
19. Orlitzky M., Schmidt F. L., Rynes S. L. Corporate social and financial performance: A meta-analysis. *Organization Studies*. 2003. No. 24(3). Pp. 403–441.
20. Melnyk S. A., Sroufe R. P., Calantone R. Assessing the impact of environmental management systems on corporate and environmental performance. *Journal of Operations Management*. 2003. No. 21(3). Pp. 329–351.
21. Schaltegger S., Hansen E. G., Lüdeke-Freund F. Business models for sustainability: Origins, present research, and future avenues. *Organization & Environment*. 2016. No. 29(1). Pp. 3–10.
22. Biodegradable Packaging Market Snapshot (2022–2032). URL: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/biodegradable-packaging-market> (дата звернення: 04.07.2024).
23. Bioplastics market development update 2023. European Bioplastics Association. 2023. URL: <https://www.european-bioplastics.org/market/> (дата звернення: 04.07.2024).
24. Shevchenko, Tetiana, et al. «Product-level circularity metrics based on the» Closing–Slowing Future–Past» quadrant model.» *Sustainable Production and Consumption*. Vol. 34 (2022). P. 395–411.



25. Nifatova O. M., Shkoda M. S. Активізація політики інноваційного розвитку через утворення інноваційних кластерів як форми державно-приватного партнерства. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series: Economic sciences*. 2017. Т. 117. №. 6. С. 110–120.
  26. Bliumska-Danko, K., Charreire-Petit, S., Qu, D., & Shevchenko, T. (2022). Mapping organic packaging research: Environmental concern and health safety. *Environmental Economics*. 2022. Vol. 13(1). P. 155–170.
- References:**
1. European Commission (2018) A sustainable Bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. *EC Publications*.
  2. Talavyrya M. P., Talavyrya O. M., Vashchenko V. V. (2014) Vplyv bioekonomiky na rozvytok silskoho hospodarstva [The impact of the bioeconomy on the development of agriculture]. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterinaryarnoi medytsyny ta biotekhnologii im. Hzhyskoho*, vol. 16(1(2)), pp. 168–177.
  3. McKinsey & Company (2023) The ESG premium: New perspectives on value and performance. *McKinsey Quarterly*.
  4. Butenko V. M. (2016) Bioekonomika yak mekhanizm dosiahnennia tsilei staloho rozvytku [Bioeconomy as a mechanism for achieving sustainable development goals]. *Visnyk ahrarnoi nauky Prychornomoria*, vol. 1, pp. 19–28.
  5. Unruh G., Kiron D., Kruschwitz N., Reeves M., Rubel H., Zum Felde, A. M. (2016) Investing for a sustainable future. *MIT Sloan Management Review*, vol. 57(4).
  6. Dobrivska M. V. (2013) Bioekonomika yak osnova staloho rozvytku [Bioeconomy as the basis of sustainable development]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Ekonomika, ahrarnyi menedzhment, biznes*, vol. 181(4), pp. 142–146.
  7. D'Amato D., Droste N., Allen B., Kettunen M., Lahtinen K., Korhonen J., Toppinen A. (2017) Green, circular, bio economy: A comparative analysis of sustainability avenues. *Journal of Cleaner Production*, vol. 168, pp. 716–734.
  8. EuropaBio (2022) The European Bioeconomy in 2030: Delivering sustainable growth by addressing the grand societal challenges. *EuropaBio – The European Association for Bioindustries*.
  9. World Economic Forum (2024) The Global Risks Report 2024. *World Economic Forum*.
  10. Cherubini F., Jungmeier G., Wellisch M., Willke T., Skiadas I., Van Ree R., Jong E. (2009) Toward a common classification approach for biorefinery systems. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, vol. 3(5), pp. 534–546.
  11. Spierling S., Knüpfner E., Behnsen H., Mudersbach M., Krieg H., Springer S., Endres H. J. (2018) Bio-based plastics – a review of environmental, social and economic impact assessments. *Journal of Cleaner Production*, vol. 185, pp. 476–491.
  12. International Energy Agency. (2021). Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector. *IEA*.
  13. Nielsen P. H., Kuilderd H., Zhou W., Lu X. (2017) Enzyme biotechnology for sustainable textiles. In *Textiles and Fashion*. Woodhead Publishing, pp. 377–392.
  14. Juwarkar A. A., Singh S. K., Mudhoo A. (2010) A comprehensive overview of elements in bioremediation. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 9(3), pp. 215–288.
  15. Scholtens B. (2017) Why finance should care about ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 32(7), pp. 500–505.
  16. Bosquet B. (2000) Environmental tax reform: Does it work? A survey of the empirical evidence. *Ecological Economics*, vol. 34(1), pp. 19–32.
  17. Martin R., Muûls M., Wagner U. J. (2016) The impact of the European Union Emissions Trading Scheme on regulated firms: What is the evidence after ten years? *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 10(1), pp. 129–148.
  18. Horbach J., Rammer C., Rennings K. (2012). Determinants of eco-innovations by type of environmental impact: The role of regulatory push/pull, technology push, and market pull. *Ecological Economics*, vol. 78, pp. 112–122.
  19. Orlitzky M., Schmidt F. L., Rynes S. L. (2003) Corporate social and financial performance: A meta-analysis. *Organization Studies*, vol. 24(3), pp. 403–441.
  20. Melnyk S. A., Sroufe R. P., Calantone R. (2003) Assessing the impact of environmental management systems on corporate and environmental performance. *Journal of Operations Management*, vol. 21(3), pp. 329–351.
  21. Schaltegger S., Hansen E. G., Lüdeke-Freund F. (2016) Business models for sustainability: Origins, present research, and future avenues. *Organization & Environment*, vol. 29(1), pp. 3–10.
  22. Biodegradable Packaging Market Snapshot (2022–2032). Available at: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/biodegradable-packaging-market> (accessed 04.07.2024).
  23. Bioplastics market development update 2023. *European Bioplastics Association*, 2023. Available at: <https://www.european-bioplastics.org/market/> (accessed 04.07.2024).
  24. Shevchenko T. (2022) Product-level circularity metrics based on the “Closing–Slowing Future–Past” quadrant model. *Sustainable Production and Consumption*, vol. 34, pp. 395–411.
  25. Nifatova O. M., Shkoda M. S. (2017) Aktyvizatsiia polityky innovatsiinoho rozvytku cherez utvorennia innovatsiinykh klasteriv yak formy derzhavno-pryvatnoho partnerstva [Activation of innovation development policy through the formation of innovation clusters as a form of public-private partnership]. *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series: Economic sciences*, vol. 117(6), pp. 110–120.
  26. Bliumska-Danko K., Charreire-Petit S., Qu D., Shevchenko T. (2022) Mapping organic packaging research: Environmental concern and health safety. *Environmental Economics*, vol. 13(1), pp. 155–170.

**Summary.** The scientific article is devoted to the relevant issue of empirical verification of the impact of implementing bioeconomic principles on enhancing the level of environmental responsibility and sustainable development of enterprises. The relevance of the study is driven by the urgent need to transform economic models towards sustainability, the growing demand for corporate environmental responsibility, and the lack of empirical data on the effectiveness of bioeconomic approaches. The goal of the research is to empirically verify and quantitatively assess the impact of implementing bioeconomic principles on increasing the level of environmental responsibility and sustainable development of enterprises, as well as to develop an integrated methodology for evaluating the effectiveness of various bioeconomic practices. The methodological toolkit of the study is based on the comprehensive application of a systematic approach, comparative analysis, and multi-criteria assessment. The author operationalizes the key constructs of the research, including bioeconomic principles, environmental responsibility, and the sustainable development of enterprises, which allows for their quantification and empirical verification. The application of a multi-criteria approach to assessing the effectiveness of various bioeconomic practices enabled the consideration of parameters such as the reduction of greenhouse



gas emissions, resource savings, reduction of toxic environmental impact, economic efficiency, and scalability potential. The results of the study demonstrate the variability in the impact of different bioeconomic practices on the environmental responsibility of enterprises. Specifically, it was found that bioenergy has the highest potential for reducing greenhouse gas emissions and scalability, enzymatic technologies show the highest economic efficiency, and bioremediation provides the greatest reduction in toxic environmental impact. The author substantiates the need for integrating different bioeconomic practices into a single system to achieve a synergistic effect and significantly improve the overall level of environmental responsibility of enterprises. The practical value of the study lies in the development of a methodological approach to the empirical evaluation of the effectiveness of bioeconomic practices, which can be used by enterprises to optimize their sustainable development strategies. Moreover, the results of the study may serve as a basis for developing public policies and incentives aimed at accelerating the implementation of bioeconomic principles in business practices. The integration of economic, environmental, and social aspects within the research aligns with modern trends towards interdisciplinarity in addressing complex sustainable development issues.

**Keywords:** bioeconomy, environmental responsibility, sustainable development, empirical verification, multi-criteria analysis, biorefining, bioplastics, bioenergy, enzymatic technologies, bioremediation.