

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 332:330.341.1

**Екоінноваційні проекти в харчовому секторі:  
інвестування в стале майбутнє**Димань Т. М. , Димань Н. О. , Задорожна Р. П. 

Білоцерківський національний аграрний університет

 Димань Т. М. E-mail: tetyana.dyman@btsau.edu.ua

Димань Т. М., Димань Н. О., Задорожна Р. П. Екоінноваційні проекти в харчовому секторі: інвестування в стале майбутнє. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2025. № 2. С. 87–100.

Dyman T., Dyman N., Zadorozhna R. Eco-innovation projects in the food sector: investment in a sustainable future. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2025. № 2. PP. 87–100.

Рукопис отримано: 01.10.2025 р.

Прийнято: 14.10.2025 р.

Затверджено до друку: 27.11.2025 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2025-198-2-87-100

Ключова роль у досягненні глобальних екологічних та соціально-економічних цілей у сучасному світі належить харчовій промисловості, бо саме агропродовольчий сектор – одне з найбільших джерел парникових викидів, деградації ґрунтів та споживання води. Результати проведеного дослідження підтверджують, що подальший розвиток харчової галузі неможливий без цілеспрямованої екоінноваційної трансформації, що базується на принципах циркулярності, технологічної ефективності та відповідального споживання. Аналіз сучасних тенденцій показав, що харчова промисловість поступово переходить до моделі *Industry 5.0*, у якій збільшується взаємодія людини й технологій, а пріоритетними стають персоналізація продуктів, мінімізація екологічного сліду та орієнтація на добробут суспільства. Впровадження екоінноваційних проектів стає ключовою умовою конкурентоспроможності підприємств і сталості агропродовольчих систем у довгостроковій перспективі.

Охарактеризовано сучасні напрями екоінновацій у харчовій галузі – виробництво альтернативних протеїнів, культивування м'яса, прецизійну ферментацію, 3D-друк харчових продуктів, апсайклінг харчових відходів та інноваційне пакування. Наведено приклади найуспішніших інноваційних проектів, поширення яких уможливить зменшення споживання води й енергії, мінімізацію втрат харчових ресурсів, зниження викидів парникових газів, забезпечення споживачів більш безпечними й здоровими продуктами. Вони демонструють різний рівень технологічного розвитку, однак всі мають високий потенціал для зменшення навантаження на природне довкілля.

Зроблено висновок, що екоінновації стають фундаментом переходу харчової промисловості до сталої, кліматично нейтральної та технологічно ефективної моделі розвитку. Вони формують нові стандарти відповідального виробництва і споживання, відповідають глобальним викликам XXI століття та відкривають для України можливості зміцнення позицій у світовому агропродовольчому просторі.

**Ключові слова:** екологічні інновації, екотрансформація харчової галузі, екоінноваційні проекти, споживачі, сталий розвиток.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Зростання населення, урбанізація та зміни клімату створюють безпрецедентний тиск на продовольчі системи, що вимагає переходу від традиційних до інноваційних і сталих моделей виробництва та споживання. Необхідність уповільнення деградації планети стала однією з найактуальніших проблем XXI століття. Ключова роль у досягненні глобальних екологічних та соціально-економічних цілей у сучасному світі належить харчовій промисловості, бо саме агропродовольчий сектор – одне із найбільших джерел парникових викидів, деградації ґрунтів та споживання води [31]. Сьогодні ця галузь перебуває на етапі переходу до моделі *Industry 5.0*, у якій гармонійно поєднуються технологічна ефективність, персоналізація продуктів і турбота про планету, а розвиток екоінновацій стає основним механізмом досягнення кліматичної нейтральності [19, 27].

2015 року Організація Об'єднаних Націй (ООН) ухвалила *Цілі сталого розвитку (ЦСР)*, серед яких ЦСР 12 («Відповідальне споживання і виробництво»), ЦСР 2 («Подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки та сприяння сталому сільському господарству») та ЦСР 3 («Здоров'я і добробут») мають особливе значення для харчової промисловості [46]. Вони визначають стратегічні орієнтири для досягнення продовольчої безпеки, зменшення екологічного сліду виробництва та формування свідомої культури споживання до 2030 року.

Досягнення ЦСР потребує екологічної трансформації харчової промисловості, яка базується на принципах екоефективності, циркулярної економіки та цифрової інноваційності. Харчова промисловість намагається забезпечити екологічну чистоту процесів виробництва певних видів харчових продуктів, особливо тих, що пов'язані з агропромисловим комплексом, який потребує значних обсягів вичерпних або повільно відновлюваних природних ресурсів як-от прісна вода. Сучасні виробники прагнуть мінімізувати вплив на природне довкілля на всіх етапах – від добування ресурсів до кінцевого споживання, впроваджуючи екоінновації як стратегічний інструмент підвищення конкурентоспроможності й водночас реагуючи на соціальний та регуляторний тиск [24].

**Мета роботи** – охарактеризувати основні сучасні екоінноваційні підходи і рішення, застосовувані в харчовій промисловості для забезпечення сталого розвитку агропродовольчого сектору економіки України.

**Необхідність екоінноваційної трансформації харчової галузі.** За визначенням Організації економічного співробітництва та розвитку (*OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development*), екоінновації – це «розроблення нових або вдосконалених продуктів, процесів чи організаційних рішень, які сприяють зменшенню негативного впливу на навколишнє [природне] середовище» [28].

Екоінновації мають фундаментальне значення для сталого розвитку підприємств та їх економічного зростання. Вони стосуються виробничих процесів, послуг, методів управління або бізнес-моделей, які є новими для підприємства і впродовж усього життєвого циклу сприяють зменшенню екологічних ризиків, забруднення та інших негативних наслідків використання ресурсів (включаючи енергетичні) [24].

Впровадження екоінновацій може принести економічні вигоди, які здебільшого є непрямими і варіюються залежно від типу інновацій та контексту, в якому їх використовують [39]. Наприклад, дослідження валового внутрішнього продукту (ВВП) на особу в Китаї, в яких аналізується прибутковість екологічної політики, показують, що зелені проекти – одні з найприбутковіших, прогнозуючи зростання ВВП з 0,03 % у 2020 році до 0,17 % у 2030 році [10].

У харчовій промисловості екоінновації є особливо актуальними через значний прямий і непрямий вплив виробництва та споживання харчових продуктів на навколишнє природне середовище. Однак харчова галузь демонструє низьку інтенсивність досліджень і розробок та обмежене впровадження інновацій через численні стратегічні бар'єри, зокрема високі витрати, низький рівень фінансування, відсутність співпраці між компаніями.

Попри численні виклики, екоінновації в харчовій промисловості створюють нові бізнес-можливості та забезпечують економічні переваги, особливо для малих і середніх підприємств, для яких орієнтація на потреби ринку є вирішальною.

Компанії повинні враховувати очікування споживачів і реагувати на вимоги ринку, який дедалі більше цінує сталість [30].

Європейська комісія з питань промисловості 5.0 наголошує на необхідності залучення споживачів як критично важливого аспекту для отримання підтримки екотрансформації харчової галузі, а також включення штучного інтелекту в процеси виробництва харчових продуктів [19, 27].

Отже, екоінновації в харчовій промисловості мають вирішальне значення для сприяння сталому розвитку, поліпшення результатів діяльності підприємств та вирішення екологічних проблем.

Сучасні екотехнологічні вектори розвитку харчової промисловості представлено на рисунку 1.

Розроблення інноваційних підходів потребує передусім виробництво повноцінного білка.

Галузь тваринництва сьогодні вважають неефективною з огляду на можливість нарощування обсягів виробництва продовольства, необхідного для задоволення потреб зростаючого населення планети. Згідно з прогнозом ФАО, до 2050 року разом зі зростанням чисельності населення до 10 млрд світовий по-

пит на м'ясо збільшиться на 73 % [9]. Однак, використовуючи майже 77 % сільськогосподарських угідь світу, тваринництво лише на 17 % забезпечує продовольчу потребу населення [14, 32].

Відповідно до даних американських дослідників, середня ефективність перетворення енергії та білка з корму в їжу для худоби в США становить приблизно 7–8 %. Підраховано, що заміна яловичини більш ефективним м'ясом як-от м'ясо птиці чи рослинні альтернативи у середньостатистичному американському раціоні може значно збільшити доступні калорії та білок і забезпечити додаткові 116 млн осіб калорійно та 142 млн осіб білково. Ефективність перетворення білка для різних видів м'яса наступна: яловичина ( $2,5 \pm 0,6\%$ ) < свинина ( $9 \pm 4,5\%$ ) < птиця ( $21 \pm 7\%$ ) [35].



Рис. 1. Екоінноваційні напрями трансформації харчової індустрії.

Джерело: згенеровано за допомогою ШІ.

Крім того, тваринництво для виробництва харчових продуктів було визнано однією з головних причин екологічних проблем, таких як евтрофікація, закиснення, витрати прісної води, вирубування лісів і зміна клімату [4].

Перспективні альтернативні джерела високоякісного білка, використовувани для підтримання продовольчої безпеки з мінімальним впливом на навколишнє природне середовище, – рослинна сировина, вирощена *in vitro* м'язова тканина, продукти прецизійної ферментації. Ці інноваційні альтернативи білкової індустрії можуть доповнювати одна одну, уможливаючи створення екологічно сталих і менш ресурсномістких харчових продуктів порівняно з традиційними.

**Виробництво альтернативних протеїнів.** Цінне, широко використовуване джерело білка, що містить усі необхідні амінокислоти і є чудовою альтернативою м'ясу, особливо для вегетаріанців та веганів, – соя. Однак споживачі висловлюють занепокоєння щодо генетичної модифікації цієї культури, надмірного використання пестицидів під час її вирощування і високого вмісту фітоестрогенів у соєвих продуктах. Це стимулює попит на альтернативні рослинні білки, які продукуються іншими сільськогосподарськими культурами. Гарна білкова альтернатива сої – нут, оскільки не містить фітоестрогенів, алергенів та глютену. Крім того, білок нуту має нейтральний смак, високу поживність, емульгувальні та піноутворювальні властивості, його можна використовувати як у холодному, так і в теплому вигляді. Ізраїльський стартап *InnovoPro* виробляє 70 % концентрату нуту, який слугує білковим інгредієнтом для широкого спектру продуктів, включаючи веганські бургери, веганське морозиво, «немолочні» молочні продукти, веганський майонез та різні запечені страви [17].

Ще одна альтернатива білкам тваринного походження – білок водоростей. Його виробництво характеризується меншим вуглецевим слідом. Одна з основних проблем поширення білка на основі морських водоростей – його специфічний смак і запах. Тому інноваційні проекти спрямовано на технології й процеси ферментації для виробництва білка водоростей з нейтральним смаком і запахом. Швейцарський стартап *Alver* використовує ферментацію для виробництва «Золотої хлорели» – білкового порошку із зеленої одноклітинної водорості хлорели (*Chlorella*). Цей протеїновий суперфуд містить повний профіль амінокислот, вітаміни (А, групи В, С, К),

мінерали (цинк, магній, залізо, калій), хлорофіл, антиоксиданти, харчові волокна та ненасичені жирні кислоти. Він має нейтральний смак і добре поєднується з іншими інгредієнтами в різних рецептурах. Підраховали, що виробництво золотої хлорели *Alver* потребує в 40 разів менше землі та води й викидає в 36 разів менше CO<sub>2</sub>, ніж виробництво тваринного білка [2].

Джерелом альтернативного білка є міководна рослина ряска, відома також як водна сочевиця або лемна. Ряска має швидкий природний темп росту, що дає змогу збирати врожай щодня. Для її вирощування не потрібні сільськогосподарські угіддя, зрошення чи використання пестицидів та інших токсичних хімікатів. Використовувана у виробничому процесі вода переробляється через систему замкнутого циклу. Американський стартап *Plantible Foods* спеціалізується на виробництві високофункціонального рослинного білка *RuBisCO*, видобуваючи його з ряски за використання екологічно чистих процесів вирощування та екстракції. Цей білок не містить алергенів, має нейтральний смак, запах та колір і може використовуватися як заміник яєць, молочних продуктів або м'яса в різноманітних харчових продуктах. Стартап запустив перший комерційний завод у штаті Техас, потужності якого дають змогу виробляти тисячі тонн біомаси на рік, а також розробив продукт *Rubi Whisk* – рослинний заміник яєць [12].

Наведені вище рослинні білкові альтернативи набувають популярності серед споживачів, які шукають екологічно чисті та етичні варіанти харчування. Впровадження таких технологій не лише сприяє екологічній сталості, а й створює нові бізнес-моделі зокрема, *alt-protein economy* – економіку альтернативних білків.

**М'ясо *in vitro*.** Виробництво клітинного (вирощеного *in vitro*) м'яса також вважають перспективною технологією, яка уможливить значне скорочення використання природних ресурсів (землі, води), а також викидів метану порівняно з галуззю тваринництва. М'ясо отримують із стовбурових клітин тварин з використанням методів клітинної біології, тканинної і харчової інженерії, виключаючи необхідність розведення і забою тварин. Стовбурові клітини, які здатні до самооновлення і множинного диференціювання, виділяють шляхом біопсії, а потім розмножують *in vitro* з утворенням м'язових волокон, жирових та інших типів клітин, які формують м'язову тканину [16].

Перший м'ясний продукт із клітинного м'яса з'явився на ринку у 2013 році завдяки дослідженням професора Маастрихтського університету (Нідерланди) Марка Поста. Це був гамбургер із культивованої яловичини, який складався з понад 10 тис. м'язових волокон. Попри високу вартість, технологія привернула велику увагу вчених, підприємців та інвесторів. До кінця 2020 року в усьому світі вже налічувалося приблизно 60 стартапів, які працювали з технологією культивованого м'яса. З-поміж них 28 % компаній зосереджені на вирощуванні яловичини і свинини, 12 % компаній зацікавлені у виробництві морепродуктів, 10 % – отриманні м'яса птиці і 28 % компаній не приділяли уваги кінцевому продукту. Вибір продукції компаніями обумовлений місцевими дієтичними звичками і уподобаннями [49].

Найвідомішими виробниками культивованого м'яса є дві компанії – *Mosa Meat* (Нідерланди) та *Memphis Meats* (нині *UPSIDE Foods*, США).

Компанію *Mosa Meat* засновано у 2016 році в Нідерландах (м. Маастрихт). Вона спеціалізується на «культивованій яловичині» й позиціонує себе як лідер «клітинної сільськогосподарської революції» у Європі з місією радикально зменшити вплив виробництва м'яса на природне довкілля та покращити добробут тварин. Виробники відбирають невеликі біопсії м'язової тканини корови (напр., породи Лімузин), із яких вирощують м'язові та жирові клітини у спеціальному середовищі росту. При цьому зосереджуються на досягненні «жирового паритету» (*fat parity*), тобто на тому, щоб культивована яловичина мала жирову структуру та характеристику, подібну до природної, з огляду на те, що жир відіграє ключову роль у смаку, ароматі, текстурі м'яса.

У 2023 р. *Mosa Meat* першою серед компаній з культивування м'яса отримала сертифікацію *B Corp*, що підтверджує її прихильність до дотримання екологічних та соціальних стандартів. Вона активно масштабується і нині має найбільшу виробничу базу з культивованого м'яса (понад 7340 м<sup>2</sup>). 2024 року компанія провела перше офіційне дегустаційне тестування свого бургера в Нідерландах, що стало важливим кроком до комерціалізації. Як і в усій індустрії культивованого м'яса, ключовими питаннями для компанії нині є зниження витрат (зокрема на середовище росту клітин), масштабування біореакторів, питання регуляції (напр., в ЄС через *Novel Foods*), прийняття продукції споживачами [26].

Американська компанія *Memphis Meats* позиціонує себе як один із піонерів у галузі клітинного м'ясного виробництва, прагнучи створювати повноцінні м'ясні продукти без вирощування та забою тварин. Технологія компанії базується на культивуванні м'язових та інших типів тваринних клітин у біореакторах за допомогою спеціальних поживних середовищ.

У 2017 році *Memphis Meats* повідомила про отримання першої у світі курятини та качинового м'яса, вирощених винятково з клітин, без використання живої птиці. За органолептичними властивостями такі продукти відповідають традиційному м'ясу – зберігають смак, текстуру та аромат.

Для культивування, пакування та логістики продукції компанія збудувала спеціалізований виробничий комплекс у районі Сан-Франциско [25].

Згідно з незалежним та рецензованим оцінюванням життєвого циклу, виробництво культивованої яловичини, за прогнозами, викидатиме на 93 % менше парникових газів, використовуватиме на 95 % менше землі та на 78 % менше води порівняно з промисловим виробництвом м'яса. Індустрія культивованого м'яса забезпечує можливість використання вивільнених земель для відновлення диких середовищ існування та застосування регенеративних методів землеробства, що природним шляхом зменшить викиди й збільшить виробництво продовольства. Крім того, автоматизований процес виробництва культивованого м'яса й стерильне середовище вирощування клітин дадуть змогу усунути чи зменшити ризики, пов'язані з інтенсивним тваринництвом – використанням антибіотиків, розвитком патогенів, накопиченням забруднювальних речовин, виникненням харчових отруєнь тощо [36].

Технології клітинного культивування дають також змогу виростити в лабораторних умовах рослинні клітини какао, ванілі або бобових, які можна використовувати для створення текстурованого «рослинного м'яса» з мінімальною обробкою.

**Прецизійна ферментація.** Прецизійна (точна) ферментація (*precision fermentation*) – технологія, за якої для виробництва білків, жирів і ферментів, аналогічних тваринним, використовують мікроорганізми.

Мікробну ферментацію вже давно використовують для виробництва ферментів, за допомогою яких мікроорганізми перетворюють один тип речовин в інший. Найвідоміший приклад – сичужний фермент для

виробництва твердих сирів. Традиційне виробництво передбачало використання ферменту, виготовленого зі шлунків телят, а нині його можна отримувати за допомогою особливого штаму дріжджів [14].

Технологію прецизійної ферментації застосовують для виробництва білків, жирів, інших функціональних інгредієнтів нового покоління, які дають змогу створювати м'ясо, яйця й молочні продукти без тварин.

Шляхом аеробної ферментації із грибного міцелію (нитчастої структури гриба *Fusarium venenatum*) отримують мікопротеїн і використовують як основу для веганських замінників м'яса, що робить його цінним джерелом білка для людей, які дотримуються рослинної дієти. Мікопротеїн багатий на білок, клітковину та незамінні амінокислоти й водночас має низький уміст жиру та холестерину [1, 5].

Продуктом із мікопротеїну є, наприклад, так зване філе *Quorn* – альтернатива курячому філе. Продукт поєднує високу поживність із екологічною сталістю – меншим вуглецевим слідом (виробництво філе *Quorn* спричиняє на 90 % менше викидів CO<sub>2</sub>, ніж виробництво курятини) [11, 48]. Його якісний склад у порівнянні з курячим філе наведено у таблиці 1.

Рослинні аналоги м'яса допомагають створювати «кодзи» – вид пліснявих грибів (*Aspergillus oryzae*, *Aspergillus sojae*, *Aspergillus tamar*), які у японській кухні використовують для ферментації і приготування місо, саке, соєвого соусу. Кодзи вирощують у вигляді ниток, що нагадують м'язові волокна, а потім комбінують з рослинними жирами

і спеціями. Ферменти кодзи підсилюють смак умами й роблять рослинні страви більш насиченими – без підсилювачів смаку і надлишкової обробки [18].

Американська компанія *Perfect Day* спеціалізується на виробництві молочних білків (казеїнів, сироваткових), ідентичних тим, що містяться у звичайному молоці, за допомогою прецизійної ферментації. В основі «ені-мел-фрі» білка від *Perfect Day* – генномодифікована мікрофлора. Білки, які виробляє компанія, використовують як інгредієнти в різних харчових продуктах, зокрема в сирах, морозиві, вершках та інших молочних продуктах. Компанія заявляє, що таке виробництво продуктів – більш екологічно стале, ніж традиційне молочне скотарство, оскільки потребує менше земельних та водних ресурсів й спричиняє на 97 % менше викидів парникових газів, ніж виробництво молочних продуктів за використання традиційних технологій. Один із найвідоміших продуктів компанії – морозиво, яке випустили ще у 2019 році [7].

Берлінська компанія *Formo* за використання мікроферментації виготовляє «ені-мел-фрі» сири [13]. Американська біотехнологічна компанія *Clara Foods* з використанням дріжджів та ДНК тваринних білків отримує яєчні білки [37]. Компанія-виробник аналогів м'яса на рослинній основі *Impossible Food* у складі своїх бургерів використовує отриманий шляхом мікробної ферментації «гем», який надає їх продукту «м'ясного» смаку. У 2022 р. ця каліфорнійська компанія передала понад 4 т штучного м'яса для гуманітарних потреб українців [44].

Таблиця 1 – Якісний склад філе *Quorn* та філе курячого

Показник	Філе <i>Quorn</i> (мікопротеїн)	Куряче філе (тваринне м'ясо)
Основний білковий компонент	Мікопротеїн ( <i>Fusarium venenatum</i> )	Тваринний білок (м'язова тканина курки)
Білок (г/100 г)	11–14	22–25
Жири (г/100 г)	2–3	1–3 (залежно від способу приготування)
Насичені жири (г/100 г)	0,5–0,8	0,8–1
Вуглеводи (г/100 г)	2–4 (здебільшого клітковина)	<0,5
Калорійність (ккал/100 г)	90–110	120–130
Амінокислотний профіль	Повний, але дещо менше метіоніну	Повний, оптимальний для людини
Вітаміни та мінерали	Цинк, залізо, калій, селен, вітаміни групи В	Залізо, цинк, вітамін В12, ніацин
Тип білка	Грибний (холестерин відсутній)	Тваринний (містить холестерин)

Джерело: складено авторами за [11, 48].

*Amai Proteins* – ізраїльський стартап, який розробив найсолодший у світі білок для заміни цукру в харчових продуктах. Цей білок зв'язується з рецепторами солодкого смаку людини так само, як цукор. Він перетравлюється як білок, не впливаючи на рівень цукру в крові. Продукт має нульовий глікемічний індекс, нуль калорій, термостабільний та сумісний з різними продуктами. Для його виробництва використовують метод гнучкого інтегративного обчислювального проектування білків (*AI-CPD – Agile Integrative Computational Protein Design*) і точну ферментаційну біотехнологію [20].

Таким чином, технологія прецизійної ферментації вирішує ключові проблеми сталого розвитку, оскільки вона може створювати ефективні альтернативи традиційним харчовим і сільськогосподарським продуктам, потенційно зменшуючи вплив на навколишнє природне середовище, підвищуючи продовольчу безпеку та задовольняючи зростаючий попит на альтернативні білки та поживні речовини на харчовому ринку.

**3D-друк харчових продуктів.** 3D-друк харчових продуктів – це процес виготовлення продуктів шляхом пошарового накладання харчових матеріалів (пюре, паст, порошків або емульсій) за допомогою спеціальних харчових 3D-принтерів, керованих комп'ютерною моделлю (CAD-файлом). Технологія базується на принципах адитивного виробництва, де форма, структура та склад продукту формуються поступово, шар за шаром. Вона поєднує елементи кулінарії, інженерії матеріалів, цифрового дизайну та харчової науки, уможливаючи створення персоналізованих

продуктів із заданими поживними, сенсорними та функціональними властивостями. 3D-друк харчових продуктів сьогодні вважають однією з найперспективніших інновацій у сфері харчових технологій і агропродовольчої індустрії [15, 23]. Основні технології 3D-друку їжі і приклади їх застосування представлені у таблиці 2.

Матеріалом для 3D-друку їжі можуть слугувати білкові пасти (м'ясні, рибні, соєві, комахинні білки), вуглеводні композиції (шоколад, цукор, крохмальні та борошняні суміші), жирові системи (маргарини, креми, молочні емульсії), овочево-фруктові пюре (морквяне, гарбузове, яблучне, бананове та ін.), функціональні добавки (вітаміни, пробіотики, антиоксиданти).

Важлива перевага технології – те, що вона уможливує персоналізацію харчування – створення продуктів із заданим умістом білків, жирів, вуглеводів, вітамінів відповідно до віку, стану здоров'я, харчових обмежень людини. Використання залишкової сировини (овочевих відходів, білкових концентратів, побічних продуктів переробки) сприяє зниженню харчових відходів. Технологія забезпечує високу точність дозування компонентів, що важливо для лікувального та геріатричного харчування, а також автоматизацію та «розумне виробництво» – можливість інтеграції з цифровими платформами управління рецептурами (*Industry 4.0*). Крім того, застосування 3D-друку уможливує естетичний і сенсорний дизайн продуктів – створення складних геометричних форм, текстур і кольорів, не досяжні у традиційному виробництві [21–23].

Технологія має й певні обмеження (табл. 2).

Таблиця 2 – Основні технології 3D-друку їжі

Технологія	Принцип роботи	Типи матеріалів	Приклади застосування
Екструзійний друк ( <i>Extrusion-based printing</i> )	Видавлювання харчової маси через сопло під тиском	Пюре, шоколадний ганаш, тісто, білкові пасти, овочеві суміші	Друк десертів, закусок, м'ясних аналогів
Інк-джет друк ( <i>Inkjet printing</i> )	Розпилення мікрокрапель харчових розчинів або паст	Барвники, ароматизатори, харчові гелі	Декорування, друк на поверхнях тортів, печива
Селективне спікання ( <i>SLS – Selective Laser Sintering</i> )	Використання лазера для спікання порошкоподібних харчових матеріалів	Цукрові або білкові порошки	Цукерки, карамель, кристалічні вироби
Струменеве з'єднання ( <i>Binder jetting</i> )	Склеювання порошкових частинок за допомогою рідкого зв'язувача	Порошкове молоко, крохмаль, білкові порошки	Енергетичні батончики, сухі закуски

Джерело: складено авторами за [15, 21, 22, 34, 38, 41, 42].

Таблиця 2 – Обмеження технології 3D-друку їжі

Категорія	Проблема
Технологічні	Обмежена кількість матеріалів, що підходять для друку; складність контролю текстури після термічної обробки (не всі продукти зберігають форму після запікання або охолодження)
Гігієна і безпека	Необхідність дотримання санітарних вимог у системах з багаторазовим використанням матеріалів. Потреба в очищенні сопел і трубок 3D-принтера
Регуляторні	Відсутність стандартів і нормативів для «друкованої» їжі, зокрема у <i>Novel Foods Regulation</i> (ЄС)
Економічні	Висока вартість обладнання, обмежений масштаб виробництва. Середня ціна харчового 3D-принтера – 3–10 тис. €
Соціальні	Споживче сприйняття «штучності» продуктів. Необхідність популяризації серед населення

Джерело: складено авторами за [6, 21, 22, 42].

Численні компанії у світі застосовують 3D-друк для виробництва харчових продуктів. Наприклад, *NASA* та *BeeHex* (США) розробляють 3D-друк харчування для космічних місій; *Natural Machines* (Іспанія) створила комерційний 3D-принтер *Foodini* для ресторанів; *Barilla* (Італія) експериментує з друком макаронних виробів складних форм; *Redefine Meat* (Ізраїль) застосовує 3D-друк білкових композицій для створення рослинних «стейків» із текстурою справжнього м'яса; *Singapore Centre for 3D Printing* впроваджує проекти з друку дитячого та дієтичного харчування [21, 22, 41, 42].

Технологія має широкі перспективи у масовому харчуванні – ресторанах, лікарнях, військових та космічних програмах. У синергії з персоналізованою медициною можливе створення функціональних харчових продуктів, що враховують генетичний профіль людини. Інтеграція з біотехнологіями уможливить використання білків із комах, водоростей або клітинних культур. Всі ці проекти екоінноваційні й сприяють сталому розвитку, оскільки спрямовані на мінімізацію втрат сировини, зменшення енерговитрат і транспортування.

**Апсайклінг харчових відходів.** За даними FAO, понад 1/3 всіх харчових продуктів у світі щорічно витрачається даремно або стає відходами [43]. Це створює велике навантаження на навколишнє природне середовище (викиди парникових газів, витрати води та земельних ресурсів) і перешкоджає сталому розвитку продовольчих систем. Зацікавлені сторони харчової промисловості та ланцюга постачання повинні прагнути до нульових відходів та низьких викидів вуглекислого газу під час переробки. Існує чітка синергія між другою Ціллю сталого розвитку (ЦСР) «Нульовий голод» та Завданням ЦСР 12.3, метою якого є скорочення харчових відходів удвічі та мінімізація втрат харчових продуктів [3, 46].

Потужним інструментом для переходу до більш сталого та ефективного харчового виробництва є апсайклінг – процес перетворення побічних продуктів харчової промисловості та харчових залишків на нові, якісні та безпечні харчові інгредієнти з більшою доданою вартістю. Глобальний ринок апсайклінгу в харчовій індустрії в 2022 р. оцінювали в 54,5 млрд доларів, а у 2032 р., за оцінками експертів, він зросте до 94,6 млрд [40].

На відміну від переробки (*recycling*), яка часто означає розкладання матеріалу (наприклад, на компост), та вторинного використання (*reusing*), апсайклінг створює продукти, цінніші за оригінальні «відходи». *Upcycling* уможливорює зменшення кількості відходів та негативного впливу на навколишнє природне середовище; створення нових джерел доходу для виробників; збільшення продовольчої безпеки за рахунок повнішого використання врожаю; розроблення інноваційних та високопоживних продуктів [3].

Джерело сировини для апсайклінгу – найрізноманітніші відходи харчових виробництв: зернової та борошняної промисловості (висівки, зародки, пилкові оболонки, що залишаються після помелу зерна на борошно); обробки фруктів та овочів (шкірка, насіння, м'якоть, стебла від виробництва соків, пюре, консервів); виноробства та пивоваріння (вичавки винограду, дріжджова біомаса, солодовий окріп); молочної промисловості (сироватка); олійної промисловості (шрот після віджимання олії з насіння) [45].

Для перетворення відходів на інгредієнти використовують різноманітні технології, найпростіша з яких – сушіння й помел. Застосовують також екстракцію – з допомогою розчинників, води або CO<sub>2</sub> під тиском із сировини вилучають цінні компоненти (наприклад, антиоксиданти, пектин, барвники, олії). Для

перетворення відходів на нові продукти (наприклад, білок, органічні кислоти) використовують ферментацію за допомогою мікроорганізмів або ферментів. Біотехнологічні методи уможливають вирощування на відходах грибків або бактерій для отримання білкової біомаси [3, 11].

Численні компанії в усьому світі успішно застосовують принципи апсайклінгу (табл. 4). Це шлях від лінійної моделі «виробив–спожив–викинув» до циркулярної економіки, де кожна частина сировини знаходить своє застосування, створюючи корисні, смачні та інноваційні продукти.

Таблиця 3 – Приклади нових харчових інгредієнтів, отриманих із відходів

Вихідні відходи	Отриманий інгредієнт	Застосування в харчових продуктах
Шкірка томатів, насіння	Порошок з томатної шкірки (багатий лікопіном), олія з насіння	Натуральний барвник, підвищення поживної цінності хліба, печива, соусів
Виноградні кісточки та шкірка	Олія з кісточок, борошно з кісточок, екстракт ресвератролу	Дорогі олії для косметики та харчування, антиоксидантні добавки, харчові волокна
Пивна дробина	Борошно з пивної дробини (багате на білок та клітковину)	Хліб, здоба, снеки, крекери, корми для тварин
Цитрусовий жом	Пектин, ефірні олії, волокна	Желе, джеми, мармелад, ароматизатори, харчові волокна для збагачення продуктів
Молочна сироватка	Концентрат сироваткового білка, ізолят, лактоза	Спортивне харчування, протеїнові батончики, хлібобулочні вироби, напої
Кавова ягода (м'якоть)	«Кавове борошно» ( <i>Coffee Flour</i> )	Додавання до випічки, соусів, напоїв як ароматизатор та джерело клітковини

Джерело: складено авторами за [3, 40, 45].

Таблиця 4 – Приклади застосування апсайклінгу закордонними продовольчими компаніями

Вихідна сировина	Компанія	Продукт
<b>Переробка фруктів та овочів</b>		
Нестандартні або надлишкові фрукти, овочі, які не потрапили б у ритейл через свій зовнішній вигляд. Залишки хліба з пекарень, ресторанів	<i>Rise &amp; Win</i> (Японія) / <i>Crust Group</i> (Сінгапур)	Крафтове пиво. Унікальні сорти пива
Надлишки овочів та томатні вичавки безпосередньо з ферм і харчових виробників	<i>Matriark Foods</i> (США)	Основа для соусів та супів, які постачають у школи, лікарні та соціальні служби
Некондиційні фрукти та овочі (напр., криві огірки, дрібна морква, зелені томати)	<i>Rubies in the Rubble</i> (Великобританія)	Соуси, чатні, майонези
Банани, які не відповідають стандартам ритейлу (занадто малі, великі або з плямами)	<i>Barnana</i> (США)	Органічні снеки з бананів (чипси, пюре)
<b>Переробка відходів винаробства та пивоваріння</b>		
Пивна дробина (зерновий загор, що залишається після варіння пива). Висушується і перемелюється на борошно, багате на білок і клітковину	<i>Regrained</i> (США)	Здобні батончики та порошки для випічки
Виноградні кісточки з виноробень. Просмажуються, потрібнюються. Мають горіховий присмак і багаті на антиоксиданти	<i>Vine to Bar</i> (США)	Шоколад
<b>Переробка відходів виробництва соків та олій</b>		
М'якуш кавової ягоди (пульпа), який видаляється перед сушінням кавових зерен. Збирається, сушиться, перемелюється на порошок, багатий на клітковину, білок і залізо	<i>Coffee Flour</i> (США)	«Кавове борошно» для використання у випічці, соусах і напоях
Листя кавового дерева. Сушиться, ферментується	<i>Wize Monkey</i> (Канада)	Чай із кавових листків з легким кавовим присмаком
<b>Переробка відходів молочної промисловості</b>		
Підсирна сироватка. Ферментується і дистилується	<i>Wheyward Spirit</i> (США)	Преміальний спирт для коктейлів

Джерело: складено авторами за [3, 40, 45].

Лондонська компанія *Winnow Solutions* розробляє для організацій громадського харчування та готелів технологію, яка допомагає скоротити харчові відходи та фінансові витрати. Спеціальні пристрої відстежують харчові витрати за допомогою моніторингу ваги, тим самим показуючи персоналу цінність того, що вони викидають. Нову версію *Winnow Vision*, яка працює на базі II, використовує *Armani Hotels* [20].

Міжнародна некомерційна компанія *Upcycled Food Association* об'єднує виробників харчових продуктів, створює інфраструктуру для розвитку всієї галузі й розробляє стандарти якості та маркування для продуктів апсайклінгу. Маркування «*Upcycled Certified*» на упаковці допомагає споживачам легко ідентифікувати такі продукти.

В Україні напрям апсайклінгу також поступово розвивається, часто на рівні малого бізнесу та стартапів: крафтові пивоварні, фермерські господарства та кооперативи, які переробляють «некондиції» на сухофрукти, пюре або снеки; пекарні, які використовують закваску на основі виноградуних вичавок або інші інгредієнти з відходів. Ці компанії-піонери демонструють, що апсайклінг – це не просто екологічна ініціатива, а інноваційна бізнес-модель. Вона дає змогу ство-

рювати унікальні продукти, зменшувати витрати на сировину та залучати споживачів, які піклуються про навколишнє природне середовище.

**Інноваційне пакування.** Це одна з найдинамічніших галузей, де інновації спрямовано на вирішення трьох ключових викликів: екологічність, зменшення продовольчих втрат та покращення взаємодії зі споживачем. Останні дедалі частіше віддають перевагу продуктам у екологічній упаковці, що піддається вторинній переробці або біорозкладанню. Виробники активно впроваджують нові екологічні матеріали та технології, розробляють інноваційні рішення для зменшення впливу упаковки на навколишнє природне середовище.

Інноваційні пакування можна класифікувати у такий спосіб: *розумне пакування* – взаємодіє з продуктом або навколишнім середовищем, надаючи додаткову інформацію чи функції; *активне пакування* – не просто пасивно захищає, а активно покращує стан продукту всередині; *екологічне та біорозкладне пакування* – найпотужніший тренд, спрямований на боротьбу з пластиком забрудненням; *функціональне та зручне пакування* – інновації спрямовано на полегшення життя споживача; *пакування зі зменшеним використанням матеріалів* (табл. 5).

Таблиця 5 – Види інноваційних пакувань

Види пакувань	Приклади застосування
1	2
<b>«Розумне» пакування (Smart Packaging)</b>	
Час-температурні індикатори ( <i>TTI-time-temperature indicators</i> )	Змінюють колір, якщо продукт зберігався за неналежної температури. Наприклад, на упаковці замороженої риби може з'явитися попереджувальний знак
Індикатори свіжості ( <i>freshness indicators</i> )	Реагують на гази, що виділяються у разі псування продукту (напр., на аміак у тушці бройлера). Компанія <i>Vitsab International</i> (Швеція) використовує технологію <i>FreshTag</i> створення міток, які змінюють колір у разі неналежної якості продукту
Індикатори дозрівання ( <i>ripening indicators</i> )	Пакування для фруктів (наприклад, авокадо), яке змінює колір, коли фрукт дозріває до ідеального стану
QR-коди та NFC-мітки	Надають споживачам повну інформацію про походження продукту ( <i>track &amp; trace</i> ), склад, рецепти та інструкції з утилізації. Це підвищує прозорість і довіру
<b>«Активне» пакування (Active Packaging)</b>	
Поглиначі кисню ( <i>oxygen scavengers</i> )	Невеликі пакетики або інтегровані в упаковку шари, що поглинають кисень всередині упаковки. Це значно подовжує термін придатності продуктів, чутливих до окиснення (напр., м'яса, кави, горіхів)
Антимікробне пакування	Упаковка містить йони срібла або натуральні антимікробні агенти (напр., олію гвоздики чи орегано), які інгібують ріст бактерій і грибків на поверхні продукту
Регулятори вологості	Поглинають або виділяють вологу, щоб запобігти розм'якшенню хрустких продуктів або затвердінню м'яких

Продовження табл. 5	
1	2
<b>Екологічне та біорозкладне пакування</b>	
PLA (полілактид)	Виробляється із кукурудзи або цукрової тростини. Використовується для виготовлення пляшок, стаканчиків
РНА (полігидроксиалканоати)	Виробляється мікроорганізмами, що живляться органічними відходами. Повністю біорозкладні. Компанія <i>Cove</i> (США) випустила першу у світі пляшку для води з РНА
Пакування з водоростей	Компанія <i>Notpla</i> (Великобританія) створює їстівні та біорозкладні пакетики для рідин (напр., для соусів) та стійке покриття для картонних контейнерів із бурих водоростей
Грибне пакування ( <i>Mycelium</i> )	Компанія <i>Ecovative</i> (США) вирощує упаковку з міцелію (грибниці) та сільськогосподарських відходів (напр., лушпиння насіння). Воно на 100 % компостується і має високі амортизувальні властивості
Пакування з ананасового листа	Компанія <i>Ananas Anam</i> (Великобританія) виробляє матеріал <i>Piñatex</i> з волокон листа ананаса, який можна використовувати для створення текстурованої та міцної упаковки
Їстівне пакування	Компанія <i>Apeel Sciences</i> (США) розробляє їстівні покриття на основі рослинних екстрактів, призначені для подовження свіжості харчових продуктів. Нещодавно компанія представила спеціально розроблене покриття для яблук, а також забезпечує постачання огірків без пластикової упаковки до понад 100 магазинів <i>Walmart</i> , що дало змогу усунути 27 кг пластику з річного ланцюга постачання.
Страви «від пакування»	Вафельний стаканчик для морозива, який можна спожити разом з ним
<b>Функціональне та зручне пакування (<i>Convenience Packaging</i>)</b>	
Пакування з контролем дозування	Пляшки олії з розпилювачем, упаковки для спецій з дозатором, що дає змогу оперувати однією рукою
Пакування для приготування	Контейнери, які можна використовувати в мікрохвильовій чи духовій шафі, або як каструлю (термостійкі матеріали)
Легковідкривні та повторно закриті кришки/клапани	Запобігають розсипанню та продовжують свіжість продукту після першого відкриття
Пакування багаторазового використання	Компанія <i>Loop / TerraCycle</i> (США) розробила «преміальний» контейнер – споживач купує продукт, повертає порожній контейнер і отримує новий. Система працює з <i>Unilever, PepsiCo, Nestlé</i> .
<b>Пакування зі зменшеним використанням матеріалів</b>	
Концентрати та розчинні продукти	Концентрати напоїв у маленьких упаковках, що зменшують об'єм транспортування та кількість пластику

Джерело: складено авторами за [8, 20, 40, 47].

Великий потенціал щодо поліпшення якості і підвищення безпеки різних груп харчових продуктів, а також подовження терміну їх придатності має застосування систем активної протимікробної упаковки на основі біополімерів (протеїновий ізолят, альгінат, желатин, хітозан та ін.) у поєднанні з різними біологічно активними речовинами. Застосування їстівних плівок, що містять суміш етерних олій чи рослинних екстрактів, для покриття м'яса, птиці, риби, свіжих фруктів, овочів та горіхів зумовлює дедалі більший інтерес у харчовому виробництві. Крім того, що їстівні плівки, збагачені етерними оліями

чи їх компонентами, можуть бути ефективною, нетоксичною і сталою альтернативою проблемній упаковці на основі пластику, вони спроможні істотно поліпшити якість харчових продуктів й позитивно впливати на організм людини [8].

Постійний розвиток технологій та зміна споживчих вподобань створюють нові можливості та виклики для виробників, стимулюючи розвиток інноваційних пакувальних рішень. Якісна упаковка не лише зберігає продукт, а й допомагає виробнику створити конкурентну перевагу на ринку харчових продуктів.

**Висновок.** Результати проведеного дослідження підтверджують, що подальший розвиток харчової галузі неможливий без цілеспрямованої екоінноваційної трансформації, що базується на принципах циркулярності, технологічної ефективності та відповідального споживання. Аналіз сучасних тенденцій показав, що харчова промисловість поступово переходить до моделі *Industry 5.0*, у якій збільшується взаємодія людини й технологій, а пріоритетними стають персоналізація продуктів, мінімізація екологічного сліду та орієнтація на добробут суспільства. Впровадження інновацій більше не є опціональним – воно стає ключовою умовою конкурентоспроможності підприємств і сталості агропродовольчих систем у довгостроковій перспективі.

Розглянуті в роботі напрями екоінновацій – виробництво альтернативних протеїнів, культивоване м'ясо, прецизійна ферментація, 3D-друк харчових продуктів, апсайклінг харчових відходів та інноваційне пакування – демонструють різний рівень технологічного розвитку, однак всі вони мають високий потенціал для зменшення навантаження на природне довкілля. Їх поширення дає змогу скоротити споживання води й енергії, мінімізувати втрати харчових ресурсів, знизити викиди парникових газів та запропонувати споживачам більш безпечні й здорові продукти.

Особливої актуальності ці рішення набувають для України, аграрна модель розвитку якої потребує модернізації відповідно до європейського курсу «зеленої» трансформації (*Green Deal*). Вітчизняні підприємства поступово інтегрують у виробництво принципи екодизайну, біоорієнтованих технологій, перероблення побічних продуктів і використання відновлюваної енергії. Це створює умови не лише для зменшення екологічного впливу галузі, а й для підвищення її інноваційного потенціалу та розширення експортних можливостей.

Отже, екоінновації стають фундаментом переходу харчової промисловості до сталої, кліматично нейтральної та технологічно ефективної моделі розвитку. Вони формують нові стандарти відповідального виробництва і споживання, відповідають глобальним викликам ХХІ століття та відкривають для України можливості зміцнення позицій у світовому агропродовольчому просторі.

Перспективними є дослідження, спрямовані на оцінювання економічної та екологічної ефективності впроваджених технологій, вивчення поведінки споживачів щодо інноваційних продуктів і формування сприятливого інституційного середовища для технологічного розвитку галузі.

## REFERENCE

1. Ahmad, M.I., Farooq, Sh., Alhamoud, Y., Li, Ch., Zhang, H. (2022). A review on mycoprotein: History, nutritional composition, production methods, and health benefits. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 121. DOI:10.1016/j.tifs.2022.01.027
2. Alver is a Swiss company producing everyday SuperFoods made with their unique Golden Chlorella micro-algae. Available at: <https://solarimpulse.com/companies/alver-world-sa>
3. Aschemann-Witzel, J., Asioli, D., Banovic, M., Perito, M.A., Peschel, A. O., Stancu, V. (2023). Defining upcycled food: The dual role of upcycling in reducing food loss and waste. *Trends Food Sci. Technol.*, Vol. 132, pp. 132–137. DOI:10.1016/j.tifs.2023.01.001
4. Bryant, C.J. (2019). We Can't Keep Meating Like This: Attitudes towards Vegetarian and Vegan Diets in the United Kingdom. *Sustainability*. Vol. 11 (23). DOI:10.3390/su11236844
5. Chezan, D., Flannery, O., Patel, A. (2022). Factors affecting consumer attitudes to fungi-based protein: A pilot study. *Appetite*, Vol. 175. DOI:10.1016/j.appet.2022.106043
6. Dankar, I., Haddarah, A., Omar, F.E., Sepulcre, F., Pujolà, M. (2018). *3D printing technology: The new era for food customization and elaboration*. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 75 (2). DOI:10.1016/j.tifs.2018.03.018
7. Driebusch, C. (2021). Alternative-Milk Company Perfect Day Raises \$350 Million, Prepares for IPO. *The Wall Street Journal*. Available at: [https://www.wsj.com/business/alternative-milk-company-perfect-day-raises-350-million-prepares-for-ipo-11632952800?mod=lead\\_feature\\_below\\_a\\_pos1](https://www.wsj.com/business/alternative-milk-company-perfect-day-raises-350-million-prepares-for-ipo-11632952800?mod=lead_feature_below_a_pos1)
8. Dyman, T. (2022). Antimicrobial effect of essential oils in content of edible films (review). «Animal Husbandry Products Production and Processing», no. 1, pp. 124–134. DOI:10.33245/2310-9289-2022-170-1-124-134
9. FAO, World Livestock 2011. (2011). *Livestock in Food Security*. FAO, Rome.
10. Feng, Z., Chen, W. (2018). Environmental Regulation, Green Innovation, and Industrial Green Development: An Empirical Analysis Based on the Spatial Durbin Model. *Sustainability*. Vol. 10 (1). DOI:10.3390/su10010223
11. Finnigan, T., Needham, L., Abbott, C. (2017). Chapter 19 — Mycoprotein: A Healthy New Protein With a Low Environmental Impact. *Sustainable Protein Sources.*, pp. 305–325 DOI:10.1016/B978-0-12-802778-3.00019-6
12. Foods now 'fully operational' at Texas RuBisCO plant, seeks funding to triple capacity. (2025). Available at: <https://agfundernews.com/duckweed-to-dollars-plantible-foods-now-fully-operational-at-texas-rubisco-plant-seeks-funding-to-triple-capacity>
13. Formo – The Future Dairy from Berlin & Frankfurt. Available at: <https://eatformo.com/>
14. Fursik, O.P., Semenova, A.B., Pasichnyi, V.M. Innovative solutions for the food industry.

- Available at: [https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ea03\\_c110-f0d6-4df7-a921-2a6cae-57cef4/content](https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/ea03_c110-f0d6-4df7-a921-2a6cae-57cef4/content) (In Ukrainian).
15. Godoi, F.C., Prakash, S., Bhandari, B.R. (2016). *3D printing technologies applied for food design: Status and prospects*. Journal of Food Engineering, Vol. 179, pp. 44–54. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2016.01.025
16. Guan, X., Lei, Q., Yan, Q., Li, X., Zhou, J., Du, G., Chen, J. (2021). Trends and ideas in technology, regulation and public acceptance of cultured meat. *Future Foods*, Vol. 3, pp. 1–10. DOI:10.1016/j.fufo.2021.100032
17. Hadar T., Zoref, N., Omer, I. (2018). Alternative Protein Startups Win Calcalist's Foodtech Innovation Competition. CALCALIST. Available at: <https://www.calcalistech.com/ctech/articles/0,7340,L-3744035,00.html>
18. How far can you go with lab-made food substitutes? (2021). This reporter found out. The New York Times. Available at: <https://www.nytimes.com/2021/02/22/business/how-far-can-you-go-with-lab-made-food-substitutes-this-reporter-found-out.html>
19. Industry 5.0: a Transformative Vision for Europe. ESIR Policy Brief No. 3. (2022). Luxembourg: Publications Office of the European Union. DOI:10.2777/17322
20. Innovations in the food industry: achievements and future prospects. 27.01.2022. Available at: <https://newfood.ua/2022/01/27/innovatsii-v-kharchovyi-promyslovosti-zdobutky-ta-perspektyvy-maybutnoho/> (In Ukrainian).
21. Lee, J. (2021). *A 3D food printing process for the new normal era: A review*. Processes. Vol. 9 (9). DOI:10.3390/pr9091495
22. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 69, pp. 83–94. DOI:10.1016/j.tifs.2017.08.018
23. Lupton, D., Turner, B. (2021). Food printing: How 3D printing is changing the way 806 we eat. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 35 (2), pp. 215–226.
24. Mansilla-Obando, K., Llanos, G., Gómez-Sotta, E., Buchuk, P., Ortiz, F., Aguirre, M., Ahumada, F. (2024). Eco-Innovation in the Food Industry: Exploring Consumer Motivations in an Emerging Market. *Foods*. Vol. 13 (4). DOI:10.3390/foods13010004
25. Memphis Meats Rebrands as 'UPSIDE Foods' & Announces First Consumer Lab-Grown Chicken. 2021. Available at: <https://labgrownmeat.com/memphis-meats-rebrand-upside-foods/>
26. Mosa Meat Conducts First Pre-Approval Tasting of Cultivated Beef in the EU. Available at: <https://static1.squarespace.com/static/5f58b0094108a94a07e7dbd2/t/66a14d43229ab92495248611/1721847165740/Press+release+First+NL+Tasting++Mosa+Meat+Conducts+First+Pre-Approval+Tasting++of+Cultivated+Beef+in+the+EU+%5BEN%5D+%281%29.pdf>
27. Müller, J. (2020). Enabling Technologies for Industry 5.0. European Commission: Brussels, Belgium, pp. 8–10. DOI:10.2777/082634
28. OECD. (2009). Sustainable Manufacturing and Eco-Innovation: Framework, Practices and Measurement – Synthesis Report. OECD: Paris, France.
29. Post, M. (2014). Cultured beef: medical technology to produce meat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 94 (6). DOI:10.1002/jsfa.6474
30. Rabadán, A., González-Moreno, Á., Sáez-Martínez, F.J. (2019). Improving Firms' Performance and Sustainability: The Case of Eco-Innovation in the Agri-Food Industry. *Sustainability*. Vol. 11 (20). DOI:10.3390/su11205590
31. Raihan, A. (2023). Toward sustainable and green development in Chile: Dynamic influences of carbon emission reduction variables. *Innov. Green Dev.*, Vol. 2. DOI:10.1016/j.igd.2023.100038
32. Roser, M., Ritchie, H. (2019). Yields and land use in agriculture. In: Our World In Data. org. Available at: <https://ourworldindata.org/yields-and-land-use-in-agriculture>
33. Severini, C., Derossi, A. (2016). Could the 3D printing technology be a useful strategy to obtain customized nutrition? *Journal of Clinical Gastroenterology*, 50, pp.175–178. DOI:10.1097/MCG.0000000000000705
34. Shepon, A., Eshel, G., Noor, E., Milo, R. (2016). Energy and protein feed-to-food conversion efficiencies in the US and potential food security gains from dietary changes. *Environ. Res. Lett. Pub.* Vol. 11 (10). DOI:10.1088/1748-9326/11/10/105002
35. Sinke, P., Swartz, E., Sanctorem, H., Van der Giesen, C., Odegard, I. (2023). Ex-ante life cycle assessment of commercial-scale cultivated meat production in 2030. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Vol. 28, pp. 234–254. DOI:10.1007/s11367-022-02128-8
36. Southey Flora. (2021). Has science cracked the world's first animal-free egg through fermentation? Opens in new window 09.02.2021. Available at: <https://www.foodnavigator.com/article/2021/02/09/clara-foods-on-cracking-the-world-s-first-animal-free-egg-white/>
37. Sun, J., Zhou, W., Huang, D., Fuh, J.Y.H., Hong, G.S. (2015). *An overview of 3D printing technologies for food fabrication*. Food and Bioprocess Technology, Vol. 8, pp. 1605–1615. DOI:10.1007/s11947-015-1528-6
38. Sun, Y., Bi, K., Yin, S. (2020). Measuring and Integrating Risk Management into Green Innovation Practices for Green Manufacturing under the Global Value Chain. *Sustainability*. Vol. 12 (2). DOI:10.3390/su12020545
39. Sustainability on the plate: The power of food upcycling. (2025). *Asia Food Journal*, 23 p. Available at: <https://asiafoodjournal.com/magazine-january-to-february-2025/>.
40. Tan, C., Toh, W.Y., Wong, G., Li, L. (2018). Extrusion-based 3D food printing – Materials and machines. *International Journal of Bioprinting*, Vol. 4 (2). DOI:10.18063/IJB.v4i2.143

41. Teng, X., Li, C., Mujumdar, A.S., Zhang, M. (2022). *Progress in extrusion-based food printing technology for enhanced printability and printing efficiency of typical personalized foods: A review*. Foods. Vol. 11 (24). DOI:10.3390/foods11244111

42. The Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2024. Available at: <https://openknowledge.fao.org/home>

43. Ukraine received Impossible Foods artificial meat for humanitarian needs for the first time 06.09.2022. Available at: <https://harch.tech/2022/09/06/impossible-foods/> (In Ukrainian).

44. Ullagaddi, R. (2025). Food Waste Upcycling and Functional Foods: Innovations for Health and Sustainability. African Journal of Biomedical Research, Vol. 28 (1S), pp. 2260–2266. DOI:10.53555/AJBR.v28i1S.6671

45. UN. The 17 Goals. Available at: <https://sdgs.un.org/goals> (accessed on 20 September 2025).

46. Visco, A., Scolaro, C., Facchin, M., Brahim, S., Belhamdi, H., Gatto, V., Beghetto, V. (2022). Agri-Food Wastes for Bioplastics: European Prospective on Possible Applications in Their Second Life for a Circular Economy. Polymers. Vol. 14 (13). DOI:10.3390/polym14132752

47. Whittaker, J.A., Johnson, R.I., Finnigan, T.J.A., Avery, S.V., Dyer, P.S. (2020). The Biotechnology of Quorn Mycoprotein: Past, Present and Future Challenges. In: Nevalainen, H. (eds) Grand Challenges in Fungal Biotechnology. Grand Challenges in Biology and Biotechnology. Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-29541-7\_3

48. Zhang, G., Zhao, X., Li, X., Du, G., Zhou, J., Chen, J. (2020). Challenges and possibilities for bio-manufacturing cultured meat. Trends in Food Science & Technology, Vol. 97, pp. 443–450. DOI:10.1016/j.tifs.2020.01.026

#### Eco-innovation projects in the food sector: investment in a sustainable future

Dyman T., Dyman N., Zadorozhna R.

A key role in achieving global environmental and socio-economic goals in the modern world

belongs to the food industry, as the agri-food sector is one of the largest sources of greenhouse gas emissions, soil degradation, and water consumption. The results of the research confirm that the further development of the food sector is impossible without a targeted eco-innovative transformation grounded in the principles of circularity, technological efficiency, and responsible consumption. The analysis of current trends has shown that the food industry is gradually transitioning to the Industry 5.0 model, in which human–technology interaction intensifies, and product personalization, minimization of the environmental footprint, and orientation toward societal well-being become priorities. The implementation of eco-innovative projects is becoming a key condition for the competitiveness of enterprises and the long-term sustainability of agri-food systems.

The study characterizes modern directions of eco-innovation in the food sector, including alternative protein production, cultivated meat, precision fermentation, 3D food printing, food-waste upcycling, and innovative packaging. Examples of the most successful innovative projects are provided; their wider adoption would enable reductions in water and energy consumption, minimize food losses, lower greenhouse gas emissions, and offer consumers safer, healthier products. These solutions demonstrate varying levels of technological maturity; however, all have high potential to reduce pressure on the natural environment.

It is concluded that eco-innovations are becoming the foundation for the food industry's transition toward a sustainable, climate-neutral, and technologically efficient development model. They set new standards for responsible production and consumption, respond to global challenges of the 21st century, and open opportunities for Ukraine to strengthen its position in the global agri-food landscape.

**Keywords:** eco-innovations, eco-transformation of the food sector, eco-innovative projects, consumers, sustainability.



Copyright: Димань Т. М., Димань Н. О., Задорожна Р. П. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

ORCID iD:

Димань Т. М.

Димань Н. О.

Задорожна Р. П.

<https://orcid.org/0000-0002-6428-1476>

<https://orcid.org/0000-0003-4087-2957>

<https://orcid.org/0000-0003-1229-5611>

