

УДК 330.341.1:502/504

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5681-2025-2.04>

Віктор ПОЛИЩУК

кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології, природничих та математичних наук,
Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»

vpolischuk7@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2810-2183

Григорій ХАЄЦЬКИЙ

кандидат географічних наук, доцент, доцент кафедри екології, природничих та математичних наук,
Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»

khayetskyu@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2482-9978

Олена ГЕРАСИМОВА

кандидат педагогічних наук, доцент,

Комунальний заклад вищої освіти «Вінницька академія безперервної освіти»

gerasimovaalena79@gmail.com

ORCID: 0009-0000-2993-2723

ІННОВАЦІЙНІ МЕХАНІЗМИ НІВЕЛЮВАННЯ СУЧАСНОЇ РЕСУРСНО-КЛІМАТИЧНОЇ КРИЗИ

Анотація. Метою статті є дослідження новітніх компенсаторних механізмів урегулювання наслідків екологічної кризи шляхом реалізації природоохоронної політики з урахуванням сучасних тенденцій розвитку світової економіки. Проаналізовано кліматичні втрати у грошовому еквіваленті деяких країн Європейського Союзу та динаміку надходжень компенсаторних внесків у контексті глобальних кліматичних зобов'язань, що характеризують фінансовий складник наслідків кліматичних змін і перспективи їхнього впливу на швидкість трансформації економіки в умовах сучасних соціально-економічних викликів. Встановлено, що впровадження інноваційних технологій передбачає зростання темпів економічного розвитку з урахуванням потенційного ресурсного дефіциту та поглиблення деструктивних кліматичних змін. Пропонується розроблення нових концепцій щодо реалізації політики збалансованого природокористування з використанням прогресивних систем модернізації та екологізації економіки. **Методологія** дослідження ґрунтується на проведенні системного дослідження інноваційних технологій, які можуть сприяти вирішенню ресурсної, кліматичної, технологічної проблематики та забезпечити ефективність політики сталого розвитку. **Наукова новизна** роботи пов'язана з необхідністю фундаментального обґрунтування ключових напрямів екологізації господарства через запровадження інноваційних технологій для забезпечення високого рівня якості виробництва й зниження антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. **Висновки.** З урахуванням стрімкого зростання попиту виробництва на природні ресурси, одним із головних пріоритетів сьогодення є створення технологій з раціональним використанням натуральних матеріалів і перетворення шкідливих і небезпечних речовин на корисні для господарських комплексів. Формування кліматично нейтральної економіки передбачає створення виробництв нового типу, підвищення ефективного використання ресурсів шляхом переходу до чистої циркулярної економіки та зменшення забруднення атмосферного повітря.

Ключові слова: антропогенне навантаження, трансформація господарства, екологізація економіки, кліматичні зміни, дефіцит ресурсів.

Viktor POLISHCHUK

*Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology, Natural and Mathematical Sciences, Public Higher Educational Establishment
“Vinnytsia Academy of Continuing Education”*

vpolischuk7@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2810-2183

Grigoriy KHAETSKIY

*Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Ecology, Natural and Mathematical Sciences, Public Higher Educational Establishment
“Vinnytsia Academy of Continuing Education”*

khayetsky@gmail.com

ORCID: 0000-0002-2482-9978

Olena HERASIMOVA

*Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Public Higher Educational Establishment
“Vinnytsia Academy of Continuing Education”*

gerasimovaalena79@gmail.com

ORCID: 0009-0000-2993-2723

INNOVATIVE MECHANISMS FOR MITIGATING THE CURRENT RESOURCE AND CLIMATE CRISIS

Abstract. *The aim of the article is to study the latest compensatory mechanisms for regulating the consequences of the environmental crisis through the implementation of environmental protection policies, taking into account current trends in the development of the global economy. The article analyses the monetary equivalent of climate losses in some European Union countries and the dynamics of compensatory contributions in the context of global climate commitments, which characterise the financial component of the consequences of climate change and the prospects for their impact on the speed of economic transformation in the context of modern social and economic challenges. It has been established that the introduction of innovative technologies implies an increase in the pace of economic development, taking into account the potential resource deficit and the deepening of destructive climate change. It is offered to develop new concepts for implementing a policy of balanced nature management using progressive systems for modernising and ecologising the economy. The research methodology is based on conducting a systematic study of innovative technologies that can contribute to solving resource, climate and technological issues and ensure the effectiveness of sustainable development policies. The scientific novelty of the work is related to the need for a fundamental justification of fundamental directions of ecologisation of the economy through the introduction of innovative technologies to ensure a high level of production quality and reduce anthropogenic impact on the environment. Conclusions.* Taking into account the rapid growth in demand for natural resources, one of the main priorities today is to develop technologies that make rational use of natural materials and convert harmful and dangerous substances into useful ones for economic complexes. The formation of a climate-neutral economy involves the creation of new types of production, increasing the efficient use of resources by transitioning to a clean circular economy, and reducing atmospheric pollution.

Key words: anthropogenic load, business transformation, ecologisation of economy, climate change, resource shortage.

Постановка проблеми. Кліматичні зміни разом із ресурсно-сировинною проблемою та масштабними розмірами забруднення навколишнього природного середовища є критичним викликом сучасного світу. Нині ріст глобальних середніх температур створює значний вплив на клімат, і в короткостроковій перспективі такі наслідки будуть ще вагомішими.

Тривалі кліматичні спостереження доводять, що середні температури на Землі зростали із середини 1900-х рр. і спричинили глобальне потепління, до якого призвели об'ємні

викиди двоокису вуглецю в атмосферу через спалювання викопного палива. Ресурсно-сировинна проблема передбачає обмеженість, нерівномірний регіональний розподіл природних ресурсів, а також їх неефективне використання та негативний вплив на довкілля. Розвиток гірничодобувної промисловості та переробка ресурсів досить часто спричиняють забруднення біосфери, кліматичні зміни та руйнування екосистем. Розроблення інноваційних технологій має бути спрямоване на ефективніше використання ресурсів, їх

безвідходну переробку, створення штучних заміників матеріалів природного походження та сповільнення темпів кліматичних змін. Ресурсний дефіцит має значний негативний вплив на перспективи росту економіки, рівень конкурентоспроможності та цінову політику.

Дотримання принципів збалансованого природокористування та безвідходні технології впливатимуть на ефективність виробництва, кліматичну стабільність і обсяги забруднення екосистем. Інноваційні технології та інвестиційний складник передусім спрямовані на реалізацію політики збалансованого природокористування та стратегії сталого розвитку в контексті подальших можливих ресурсно-кліматичних змін.

Аналіз джерел та останніх досліджень. Дослідження базових аспектів запровадження інноваційних технологій збалансованого природокористування та боротьби із кліматичними змінами в загальному контексті екологізації економіки є пріоритетним у наукових роботах низки учених, серед яких Н.О. Бублієнко, С.П. Іванюта, А.І. Крисоватий, Л.В. Левандовський, С.О. Лизун, В.С. Міщенко, Г.С. Ратушняк, О.І. Семенова, І.М. Синякевич, М.А. Хвесик, О.А. Чала, Л.М. Якушенко й інші. Вибрана наукова тематика є надзвичайно важливою, адже саме екологічні інноваційні технології сьогодення стають визначальним фактором існування та розвитку суспільства та чинником запобігання деструктивним змінам екосистем. Політика екологізації економіки якраз і передбачає впровадження нових механізмів господарювання для збалансованого природокористування, недопущення поглиблення кліматичних змін і зниження рівня антропогенного забруднення.

Метою дослідження є встановлення значення інноваційних технологій і підходів у контексті ефективного вирішення нагальних екологічних проблем шляхом реалізації політики збалансованого природокористування, розроблення практичних рекомендацій щодо забезпечення сталого розвитку через упровадження механізмів загальної трансформації економіки, а особливо прискорення модернізації виробництва з орієнтиром на технологічний складник. Акцентується увага на тому, що основоположним фактором розвитку су-

спільства має стати економічний прогрес без збільшення негативного впливу на довкілля з дотриманням принципів міжнародного екологічного права та врахуванням рекомендацій рамкової конвенції ООН про зміну клімату (UN FCCC), тобто міжнародного екологічного договору, завданням якого є стабілізація концентрації парникових газів в атмосфері на тому рівні, який не допускати посиленого антропогенного впливу на клімат. Важливою ідеєю є необхідність дослідження розміру кліматичних втрат країнами ринкової економіки та впровадження компенсаторних внесків у контексті глобальних кліматичних зобов'язань.

Виклад основного матеріалу. Сучасний розвиток світового господарства допускає суттєве збільшення антропогенного навантаження на природні екосистеми, наслідком чого є погіршення якості та дефіцит ресурсів, що відбивається і на глобальних кліматичних змінах. Процес екологізації виробництва має досить повільний характер, що не дає можливості дотримуватись базової концепції декарпінгу, яка є доктриною розвитку економіки майбутнього. Глобальний світ формує реакцію на екологічні виклики сьогодення, в основі якої має стати інноваційна та модернізаційна відповідь профілактичного спрямування на прискорений процес технологізації всіх сегментів суспільного життя.

Упровадження інноваційних технологій передбачає зростання темпів економічного розвитку з урахуванням потенційного ресурсного дефіциту та поглиблення деструктивних кліматичних змін, але нині ріст виробничої динаміки можливий лише за умов цілковитого дотримання екологічного законодавства й ефективного впровадження природоохоронної політики [1].

Прогнозується, що кліматичні зміни можуть збільшити ймовірність виникнення ресурсних конфліктів через їх обмеженість у кілька разів, а наслідки глобального потепління здатні формувати значний вплив на питання безпеки й оборони, навіть геополітики. Лісові пожежі, повені, посухи, порушення гідробалансу водойм впливають на ефективність реалізації оборонної політики, можуть поглиблювати міграційні ризики та сприяти ірраціональному природокорис-

туванню. У країнах Європейського Союзу (далі – ЄС) сформовані конкретні кліматичні цілі, які насамперед пов'язані з досягненням нульового рівня викидів до 2050 р., проте агресивні дії РФ на східних кордонах ЄС змусили надати вищого пріоритету саме питанням економічного зростання, безпеки й оборони. Імовірність того, що в період 2025–2029 рр. буде побито температурний рекорд, який був зафіксований у 2023 р., і середня планетарна температура перевищить доіндустріальний показник на 1,5 °С, становить більше ніж 80%. Такий поріг в 1,5 °С визнано критичним у 2015 р. в Паризькій кліматичній угоді, відповідно, перевищення даного рівня є дуже небезпечним і може мати значні негативні наслідки для економіки, кліматичної стабільності та життя людей загалом. Глобальне потепління надалі лише буде посилюватись, а температурні аномалії формуватимуть одну з найбільших загроз майбутнього [2]. Кліматичні зміни призводять до фінансових втрат, які є досить відчутними у країнах – членах ЄС, у США та Канаді, розвинутих країнах Східної Азії. У таблиці 1 представлені фінансові показники кліматичних втрат низки країн Європейського Союзу.

Після проведення аналізу показників 2019–2022 рр., наведених у таблиці 1, визначена тенденція, що в більшості країн ЄС за досліджуваний період спостерігалось збільшення кліматичних втрат, адже наслідки змін клімату вагомо впливають на фінансово-економічні фактори розвитку європейського регіону. Загалом, по ЄС такі кліматичні втрати зросли

на 27 148 млн євро, водночас простежується деяка закономірність – чим вищий рівень розвитку економіки країни, тим сильніший вплив кліматичних змін на господарство та бюджет держав. Найвищі кліматичні втрати серед досліджуваних країн спостерігались в Італії – на рівні 11 791 млн євро, найнижчі втрати були у Швеції, адже вони зменшувались поступово й у 2022 р. досягли нульового рівня. Цілком зрозуміло, що кліматичні особливості та географічне положення країн європейських субрегіонів особливо зараз має суттєвий вплив на рівень їхньої стійкості до кліматичних змін [5].

Важливим фінансовим механізмом реагування на кліматичні зміни є сплата багатьма країнами ринкової економіки компенсаторних внесків, які частково покриватимуть економічні збитки, спричинені наслідками глобального потепління та нераціонального використання природних ресурсів. У країнах Європейського Союзу досить тривалий час реалізується концепція збору компенсаторних внесків у рамках стратегії глобальних кліматичних зобов'язань, яка має стати прикладом для всіх держав, інтегрованих у світовій економічній системі. Зміна обсягів надходжень таких компенсаторних внесків у деяких країнах – членах ЄС наведена в таблиці 2.

Як видно з таблиці 2, за період 2018–2021 рр. найвища динаміка сплати компенсаторних кліматичних внесків спостерігається в Данії, Бельгії, Італії, Швеції, Франції та Німеччині, де даний показник становить від 187,98 до 1 232,75 млн євро, тоді як загальний показник по Європейському Союзу на

Таблиця 1

Кліматичні втрати у грошовому еквіваленті деяких країн Європейського Союзу у 2019–2022 рр. (млн євро)

Країни	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2022 р.	2022/2019 рр.
Євросоюз	25 111	14 470	59 437	52 259	27 148
Бельгія	275	531	10 723	807	532
Данія	0	61	0	5	5
Іспанія	4 661	2 282	2 752	10 580	5 919
Італія	4 948	2 552	647	16 739	11 791
Нідерланди	44	502	700	731	687
Німеччина	7 742	1 508	36 393	10 342	2 600
Португалія	562	93	3	764	202
Франція	5 419	4 527	5 782	8 316	2 897
Чехія	0	165	622	72	72
Швеція	152	68	47	0	–152

Джерело: складено авторами на основі даних [3–4].

Таблиця 2

Динаміка компенсаторних внесків низки країн ЄС в контексті глобальних кліматичних зобов'язань у 2018–2021 рр. (млн євро)

Країни/рік	2018 р.	2019 р.	2020 р.	2021 р.	2021/2018 рр.
Євросоюз	14 792,83	16 205,77	18 103,89	17 977,97	3 185,14
Австрія	239,47	332,82	257,95	248,61	9,14
Бельгія	80,68	99,71	119,25	282,57	201,89
Греція	3,77	0,69	1,11	8,28	4,51
Данія	198,16	246,90	272,66	386,14	187,98
Естонія	0,97	0,53	1,97	2,77	1,8
Іспанія	694,94	740,14	529,78	726,72	31,78
Італія	451,96	417,59	582,81	731,4	279,44
Нідерланди	577,83	580,79	1 109,70	618,93	41,1
Німеччина	6 611,98	6 811,79	7 698,28	7 844,73	1232,75
Польща	49,49	12,88	22,49	8,44	-41,05
Португалія	1,64	0,89	2,32	2,17	0,53
Фінляндія	46,59	146,76	125,46	146,51	99,92
Франція	5 088,76	5 958,78	6 715,53	5 781,84	693,08
Чехія	7,20	7,47	12,23	11,51	4,31
Швеція	608,59	708,92	507,50	1 004,62	396,03

Джерело: складено авторами на основі даних [3–4; 9].

рівні 3 185,14 млн євро. Найгірша динаміка розміру сплати компенсаторних кліматичних внесків зафіксована в Португалії, Естонії, Чехії, Греції та Австрії, де вона становила 0,5–9,14 млн євро, а в Польщі такий показник скоротився досить суттєво (–41,05 млн євро) через зміни економічної доктрини країни та низки об'єктивних причин, зокрема й безпечного характеру.

Рівень CO₂ є одним із ключових індикаторів глобального потепління, зараз в атмосферному повітрі концентрація вуглекислого газу досягла максимального історичного показника. Уперше за весь період спостережень середній рівень двоокису вуглецю за місяць перевищив 430 частин на мільйон (ppm), тобто середній показник за травень 2025 р. становив 430,2 ppm, що є найвищим показником із часів початку проведення точних вимірювань. Висока концентрація CO₂ в атмосфері може спричинити значні проблеми зі здоров'ям, спровокувати розвиток природних катаклізмів, закислення Світового океану, яке значно ускладнює перебіг біогеохімічних процесів. Сучасний вміст двоокису вуглецю в атмосферному повітрі приблизно відповідає показнику «пліоценового кліматичного оптимуму», який спостерігався приблизно 4 мільйони років тому. За таких умов рівень Світового океану може підвищитись на десятки метрів, зміни у верхньому шарі води ускладнять проник-

нення сонячного світла вглиб океану, а рівень кисню на Землі може скоротитись у мільйон разів. Світовий океан має унікальну здатність досить швидко відновлюватись і за відповідного захисту екосистеми можуть за кілька років повернути втрачену стійкість [6; 7]. Живим прикладом швидкого відродження океанічних екосистем є морська національна пам'ятка США «Папаханаумоуакеа», що є об'єктом Світової спадщини, яка включає 1 510 000 км² океанських вод, десять островів і атолів Північно-західних Гавайських островів. У 2016 р. вона була розширена завдяки водам поблизу берегів Гаваїв, що перетворило її на найбільшу у світі морську природоохоронну територію. У Папаханаумоуакеа внаслідок проведення охоронних заходів у прилеглих водах зросла популяція жовтоперого тунця на 55% завдяки створенню сприятливих умов для його поширення та розмноження. Морські охоронні резервати формують фундамент для розвитку сталого рибного господарства та забезпечують біовідновні процеси. Після створення резерватів протягом кількох років спостерігається відновлення біорізноманіття, натомість у дуже деградованих екосистемах процес відновлення може тривати до 10 років.

Гострий дефіцит питної води залишається однією з головних проблем посушливих регіонів, яку можна частково вирішити вико-

ристанням водозбірників на основі чорного гідрогелю, який дає можливість поглинати та конденсувати вологу з атмосфери, забезпечуючи понад 50 мл води щодня. Такі пристрої використовують чорний гідрогель, тобто особливу «бульбашкову плівку», яка не використовує електроенергію. Даний агрегат діє повністю автономно, дає незначну кількість чистої питної води, але технологію можна масштабувати до літрів. Гідрогель містить хлорид літію, гліцерин, чорний барвник і полівініловий спирт. Цей матеріал має мікроструктуру без великих пор, що не допускає витікання солі, яка вбирає вологу з атмосфери. Пристрій являє собою панель з гелю, яка розташована між скляними шарами з полімерною зовнішньою плівкою для охолодження. У темний час доби вологість стає максимальною і гель поглинає до 150 мл водяної пари, удень поглинута волога нагрівається, потім випаровується з гелю та конденсується на прохолодній скляній поверхні. Завдяки системі каналів і гравітації відбувається збір води, придатної для вживання. Подальше вдосконалення даної технології розширить доступ споживачів до безпечної питної води у вододефіцитних районах, а для створення більших обсягів води можна встановлювати у значних кількостях паралельні панелі [8; 9].

Одним із дієвих інструментів вирішення ресурсної проблеми є повна переробка побутових відходів, яка базується на принципах сортування, переробки та скорочення обсягів захоронення відходів на полігонах і закріплена директивами про відходи. У Європі більшість країн удосконалює механізми роздільного збору, застосовує податки на полігони та забезпечує виробництва вторинною сировиною. Лідери ЄС розвивають технології максимальної переробки та повторного використання відходів, мінімізуючи обсяги захоронень на звалищах. Скандинавські країни відправляють на звалища приблизно 1% відходів, а у Швейцарії взагалі відсутні сміттєзвалища. У ЄС для сталого управління відходами намагаються значно скоротити кількість звалищ завдяки технологічному складнику й ефективній політиці з управління відходами, яка має стати прикладом для України [10].

Згідно з європейським планом передбачається скорочення рівня споживання продукції

для запобігання утворенню сміття та повторне використання компонентів, що не перетворились на відходи. Рециклінг якраз і включає переробку відходів на інші продукти й отримання енергії зі сміття. У Норвегії, Данії та Фінляндії рециклінгу піддається приблизно 50% відходів, тоді як у Німеччині цей показник становить майже 70%. ФРН є одним зі світових лідерів за показником переробки скла, сталі та паперу. Приблизно 30% твердих побутових відходів у ЄС спалюють, отримуючи значну кількість тепла й електроенергії.

Державна політика України щодо поводження з відходами поки що недосконала, тоді як у Європейському Союзі передбачена торгівля відходами для їх подальшої переробки й утилізації. У нашій країні більшість відходів надходить на сміттєзвалища, переробляється тільки 5–7% відходів, решта – спалюється. У країнах – членах Європейського Союзу постійно зростає рівень переробки побутових відходів, про що свідчать дані, наведені в таблиці 3.

У результаті проведеного аналізу показників таблиці 3 встановлено, що із 2016 по 2020 рр. рівень переробки побутових відходів зріс у таких європейських країнах: Чехії – на 11,8%, Австрії – на 4,7%, Італії – на 5,5%, Нідерландах – на 3,4%, Німеччині – на 2,5%, Франції – на 3,0%. У Швейцарії такий показник за досліджуваний період майже не змінився, тоді як у Швеції, Данії, Бельгії та Фінляндії рівень переробки побутових відходів навіть знизився від 10,1 до 1,2%, що пов'язано зі скороченням обсягів продукування ПВ в цих країнах, хоча загалом по ЄС збільшився рівень переробки на 2,7%.

Економічно ефективними стали податкові надходження на захоронення відходів, значні розміри штрафів за порушення стандартів і норм поводження з відходами, які є невід'ємним складником екологічної політики Європейського Союзу [11].

Накопичення пластикових відходів досягло планетарних масштабів і є однією з найвагоміших причин деструктивного впливу на якість екосистем і на здоров'я людей. За прогнозами ООН, протягом наступних 15–20 років рівень забруднення пластиком зросте втричі, щорічно у Світовий океан потраплятиме 25–35 млн тонн відходів. Створення пластику,

Таблиця 3

**Відсоток переробки побутових відходів деяких країн – членів ЄС
у 2016–2020 рр. (%)**

Країни/рік	2016 р.	2017 р.	2018 р.	2019 р.	2020 р.
Євросоюз	45,9	46,3	46,4	47,2	48,6
Австрія	57,6	57,8	57,7	58,2	62,3
Бельгія	53,5	53,9	54,4	54,7	52,3
Данія	48,3	47,6	49,9	51,5	45,0
Італія	45,9	47,8	49,8	51,4	51,4
Нідерланди	53,5	54,6	55,9	56,9	56,9
Німеччина	67,1	67,2	67,1	66,7	69,6
Фінляндія	42,1	40,5	42,3	43,5	41,6
Франція	39,7	40,2	40,7	41,0	42,7
Чехія	33,6	32,1	32,2	33,3	45,4
Швейцарія	52,5	52,5	52,5	53,0	52,8
Швеція	48,4	46,8	45,8	46,6	38,3

Джерело: складено авторами на основі даних [3; 4; 12].

що повністю розкладається, може забезпечити економічний і екологічний ефект.

У Японії вже синтезували екологічний пластик, здатний швидко розчинятися в солоній воді. Він не поступається за міцністю традиційному пластику з нафтопродуктів, але розкладається на вихідні складники у взаємодії із сіллю. Після цього природні бактерії переробляють ці компоненти, не залишаючи після себе мікропластикових або нанопластикових забруднень. Створений екологічний пластик цілком розчиняється в солоній воді приблизно за годину, а у ґрунті даний процес розчинення триває приблизно 220 годин. Даний матеріал не є токсичним для людини, вогнетривкий та не виділяє двоокису вуглецю, відповідно, після нанесення покриття він функціонує як звичайний пластиковий виріб, але представлена методика нанесення покриття поки що недосконала, створений матеріал до масової комерціалізації ще не готовий [12].

Технологію перетворення пластикових відходів на водневе паливо за допомогою сонячного світла створили в Південній Кореї, вона дає можливість перетворювати побутові пластикові пляшки на водневе паливо завдяки сонячному світлу, тобто фотокаталітичній системі, яка утилізує пластик і виробляє чистий водень. Під час розкладання пластику утворюються терефталева кислота й етиленгліколь, які підлягають фотохімічній реакції.

Представлена технологія передбачає використання каталізатора, який розташований на полімерній сітці між повітрям і водою, що не допускає зворотних реакцій і втрати каталі-

затора. Такі установки площею 1 м² показали свою ефективність та вже готові до серійного виробництва, незалежно від походження води.

Критичний рівень забруднення пластиком спонукав до розроблення екологічного методу розкладання ПЕТ-пластику, що використовує вологу з атмосферного повітря замість високих температур і хімічних компонентів. Інноваційна технологія переробки ПЕТ-пластику передбачає використання каталізатора з активованого вугілля та молібдену, що забезпечує якісне розщеплення полімерних зв'язків з можливістю отримання корисних мономерів, які можна використовувати у виробничих цілях. Такий екологічний підхід дає можливість знизити рівень енергоспоживання, уникнути використання агресивних хімічних речовин, ПЕТ трансформується в терефталеву кислоту, яка є основним складником пластмас, ацетальдегід як сировина може використовуватися у промисловості [12; 13].

У ФРН розроблена технологія трансформації відходів пластику на нитки для 3D-друку. Методи ближнього інфрачервоного випромінювання та «плавання і осідання» забезпечують майже 100% чистоти кінцевої сировини для отримання поліпропілену. Подрібнений пластик очищають від зайвих домішок і застосовують спеціальні методи сортування матеріалу. Саме метод «плавання та осідання» допомагає точно відокремити різні типи пластику, а технологія ближнього інфрачервоного випромінювання дозволяє видалити непотрібні матеріали, що в підсумку забезпечує приблизно 99,8% чистоти кінцевої сировини.

Очищену сировину перетворюють на монолітний поліпропілен та довговічний пластик, який застосовують у 3D-друці. Цим методом уже зараз удалося утилізувати майже 2 млн т пластику. У перспективі додаватимуть до матеріалу скловолокно, щоб отримувати запчастини для авіаракетокосмічного й автомобільного виробництва [12; 13]. З огляду на стрімке зростання попиту виробництва на природні ресурси, одним із головних пріоритетів сьогодення є створення технологій з раціональним використанням натуральних матеріалів і перетворення шкідливих і небезпечних речовин на корисні для господарських комплексів. Стратегічно важливим завданням високотехнологічних країн є уловлювання та перетворення вуглекислого газу на цінні види палива та матеріали. Такою інноваційною технологією має стати трансформація парникового газу CO_2 у тверді оксалати металів, тобто сполуки, які надалі можуть використовуватись як ключовий компонент у виробництві цементу. Найбільш поширеним з усіх типів цементу є портландцемент, який отримують з вапняку та силікатів кальцію, а його виробництво є досить енергетично затратним.

Для перетворення двоокису вуглецю на оксалати металів за каталізатор хімічної реакції використовується свинець, який у великій концентрації досить шкідливий. Для зменшення кількості свинцю необхідно застосовувати полімери з метою контролю середовища, яке безпосередньо оточує свинцеві каталізатори. Якщо забезпечити чіткий контроль мікросередовища навколо свинцевого каталізатора в такому процесі, який перетворює CO_2 на оксалат, то можна суттєво зменшити кількість свинцю, необхідного для хімічної реакції. Для електрохімічного перетворення вуглекислого газу на оксалат використовують набір електродів. На одному з електродів двоокис вуглецю перетворюється на оксалат, що є іоном, розчиненим у розчині, а другим електродом слугує металевий електрод, який окислюється та вивільняє іони металу, які компонується з іоном оксалату й осаджують його з розчину у виді твердої речовини, тобто оксалату металу. Цей компонент, що збирається, можна використовувати як важливий інгредієнт у процесі отримання цементу. Саме використання слідових концентрацій свинцю

для каталізації реакцій синтезу оксалату забезпечує ефективність процесу перетворення CO_2 на оксалат. Після перетворення вуглекислого газу на оксалат металу він більше не буде викидатися в атмосферу за сталих умов. Тепер залишається тільки масштабувати процес електролізу вуглекислого газу та забезпечити йому комерційну підтримку [14].

У процесі традиційного виробництва електроенергії використовується значна кількість паливно-енергетичних ресурсів, рівень виснаження яких у світі є досить високим, а викиди двоокису вуглецю істотно перевищують всі встановлені норми й обмеження. Прискорений розвиток зеленої енергетики частково вирішує дану проблему, але водночас необхідно здешевити електроенергію, отриману від альтернативних видів електростанцій. Водень масштабно використовується для зниження шкідливих викидів CO_2 , але технології отримання водню теж є дорогі. Для декарбонізації досить ефективним є метод електролізу води із застосуванням протонообмінної мембрани (PEMWE), який дає можливість отримувати високочастотний водень завдяки використанню лише електроенергії і води, але така технологія досить дорога, адже в ній передбачено використовувати такі дорогі метали, як платина й іридій. Каталізатором для проведення реакції виділення кисню осередки протонообмінної мембрани використовують оксид іридію (IrOx), але без платини він не працює на повну силу. Погане перенесення електронів зумовлене ефектом «відсічення», який фіксується там, де поєднуються титановий субстрат, іономір і каталізатор IrOx . Іономір, окрім проведення іонів, також виконує функцію електричного ізолятора навколо мілких часток каталізатора, під час контакту іономера з титановою підкладкою на оксидному шарі утворюється перешкода, яка знижує провідність. Для подолання цього бар'єра та створення менше зон відсічення необхідно використовувати каталізатори IrOx діаметром більше 20 нм, що дасть можливість електронам краще переміщатися між підкладкою та каталізатором, відновлюючи продуктивність без платини. Платина належить до інертних металів, вона є чудовим каталізатором для деполяризації електродів і реакції електрохімічного відновлення протонів [13; 14].

У Китаї вже використовують портативні батареї на основі електроактивних мікроорганізмів, що забезпечує можливість самозарядки до 9–10 разів без використання дефіцитного літію, хоча на тепер без технології літійових акумуляторів не обійтись. Літійові акумулятори мають високу щільність енергії, що дає можливість використовувати їх в електромобілях. Донедавна найефективніші акумулятори мали щільність енергії приблизно 300 Вт·год/кг, а нові акумулятори китайського походження мають щільність енергії більше ніж 600 Вт·год/кг. Для покращення в них роботи електроліту необхідно змінити його структуру від жорсткої, яка обмежує ефективність, до більш дезорганізованої структури, яка сприяє вільнішому руху іонів. Такі акумулятори, окрім високої щільності, стабільно працюють під час 90–100 повних циклів зарядки та розрядки, а електроліт не замерзає навіть за температури -62°C .

Політика енерго- та ресурсозбереження впроваджується завдяки застосуванню інноваційних механізмів трансформації виробництва, дотриманню принципів раціонального використання природних ресурсів, ухваленню ефективних природоохоронних рішень, чіткому дотриманню екологічного законодавства для мінімізації кліматичних і ресурсних ризиків [15; 16]. Для практичної охорони навколишнього природного середовища необхідною умовою має стати скорочення обсягів продукування виробничих і побутових відходів, шкідливих речовин через створення інноваційних виробничих технологій і реалізацію фіскальної природоохоронної політики. Зміна вектора глобального економічного розвитку має враховувати наслідки кліматичних змін, потенційний дефіцит через зростання попиту на ресурси, демографічні процеси, особливо у країнах Азії і Африки, неможливість сповільнення темпів виробництва й споживання продукції. Інноваційні екологічні технології, інвестиційні проекти, удосконалення екологічного оподаткування, комплексне управління та адміністрування, поширення екологічної свідомості населення сумарно мають сприяти подальшому економічному прогресу, який зараз важко уявити без реалізації концепції сталого розвитку [17].

Нині кліматична нейтральність перетворилась на повноцінну концепцію, яку необхідно

впроваджувати повсюдно, незалежно від галузевого контенту, беручи до уваги водночас системні особливості розвитку національних економік і специфіку глобальних змін світового господарства. Трансформація економіки спонукає до зміни вектора господарського розвитку та має враховувати базові компоненти політики кліматичної сталості. Проєктування нових систем розвитку господарства передбачає використання інструментів економічного та математичного моделювання для подальшого прогнозування динаміки виробництва з урахуванням впливу на клімат у довгостроковій перспективі. Отже, кліматична нейтральність має стати фундаментом для формування та реалізації стратегії сталого розвитку та національної безпеки країни [18].

Висновки. Екологізація економіки неможлива без урахування проблем природозбереження та необхідності ретельного дотримання політики збалансованого розвитку в умовах сучасних фінансово-економічних, соціальних і екологічних криз. Кліматична нейтральність зараз має стати одним з основних факторів глобального розвитку, а економіка нового типу – використовувати такі принципи господарювання, які забезпечать вихід із кліматичної кризи. Під час проведення аналізу масштабів кліматичної кризи для світового господарства необхідно враховувати потенційні розміри дотичних економічних збитків для встановлення точного рівня відповідальності за завдану кліматичну шкоду. Країни, які продукують найбільше викидів, особливо Індія та КНР, не можуть через як об'єктивні, так і суб'єктивні причини реалізовувати ефективну політику щодо скорочення викидів в атмосферу. Натомість Швеція, Данія та Фінляндія стали світовими лідерами з декарбонізації економіки та раціонального використання природних ресурсів саме завдяки екологічним креативним методам управління та впровадженню інноваційних технологій виробництва та споживання. Країни Євросоюзу досягли найвагоміших результатів руху економік до «чистого нуля», їхній досвід необхідно поширювати у світі й брати за основу в контексті реалізації політики декарбонізації в Україні. Метою збалансованого природокористування є використання природних ресурсів таким чином, щоб повністю

забезпечити потреби виробництва та не поглиблювати ресурсно-кліматичну кризу. Для цього необхідно дотримуватись балансу між економічним розвитком і збереженням

навколишнього природного середовища, знизувати негативний вплив на довкілля та раціонально використовувати природно-ресурсний потенціал.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Arora N. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*. 2019. № 2. P. 95–96. DOI: 10.1007/s42398-019-00078-w
2. Bodansky D. The Copenhagen Climate Change Conference: A Postmortem. *American Journal of International Law*. 2010. Vol. 104. № 2. P. 230–240.
3. Database on instruments used for environmental policy. URL: http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/Query_2.aspx?QryCtx=1# (дата звернення: 12.09.2025)
4. Eurostat. Environmental tax revenues. URL: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_ac_tax&lang=en (дата звернення: 12.09.2025).
5. Eckstein D., Kunzel V., Schafer L. Global climate risk 2021. Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2019 and 2000–2019. 2021.
6. Eswaran U., Eswaran V. Decarbonization: pathways for a sustainable future. *Journal on Future Engineering & Technology*. 2023. № 18 (4).
7. Finkbeiner M., Bach V. Life cycle assessment of decarbonization options—towards scientifically robust carbon neutrality. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2021. № 26 (4). P. 635–639.
8. Martinich J., Crimmins A. Climate damages and adaptation potential across diverse sectors of the United States. *Nature Climate Change*. 2019. № 9. P. 397–404.
9. Market Stability Reserve. European Commission. Climate Action.EU Action. EU Emissions Trading System (CTB EC). URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/marketstability-reserve_en (дата звернення: 11.09.2025).
10. Newman R., Noy I. The global costs of extreme weather that are attributable to climate change. *Nat Commun* 14, 6103 (2023). DOI: 10.1038/s41467-023-41888-1
11. Oliveira A.M., Beswick R.R., Yan Y. A green hydrogen economy for a renewable energy society. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 2021. № 33. P. 100701.
12. Regulation (EC) № 842/2006 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on certain fluorinated greenhouse gases. OJ L 161, 14.06.2006. P. 1–11. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006R0842> (дата звернення: 11.09.2025).
13. Singhal K., Pawar A., Deedwania S. Impact of Climate Change on Oil and Gas Sector and Mitigation Approach for Sustainable Development. *Sustainable Climate Action and Water Management*. 2021. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8237-0_19
14. Schreyer F., Luderer G., Rodrigues R., Pietzcker R.C., Baumstark L., Sugiyama M., Ueckerdt F. Common but differentiated leadership: strategies and challenges for carbon neutrality by 2050 across industrialized economies. *Environmental Research Letters*. 2020. № 15 (11). P. 114016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb852>
15. The Politics of Climate Change: Environmental Dynamics in International Affairs / ed. P.G. Harris. London : Routledge, 2009. 240 p.
16. Umar M., Raza M.Y., Xu Y. Determinants of CO2 emissions and economic progress: a case from a developing economy. *Heliyon*. 2023. № 9 (1). DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e12303
17. Wüstenhagen R., Wolsink M., Burer M.J. Social Acceptance of Renewable Energy Innovation: An Introduction to the Concept. *Energy Policy*. 2007. № 35 (5). P. 2683–2691. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.12.001
18. Ziegler R. Climate Neutrality – Towards An Ethical Conception of Climate Neutrality. *Ethics, Policy & Environment*. 2016. № 19. P. 256–272.

REFERENCES:

1. Arora, N. (2019). Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. *Environmental Sustainability*, 2, 95–96 [in English].
2. Bodansky, D. (2010). The Copenhagen Climate Change Conference: A Postmortem. *American Journal of International Law*, Vol. 104, № 2, P. 230–240 [in English].
3. Database on instruments used for environmental policy. Retrieved from: http://www2.oecd.org/ecoinst/queries/Query_2.aspx?QryCtx=1# [in English].
4. Eurostat. Environmental tax revenues. Retrieved from: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=env_ac_tax&lang=en [in English].

5. Eckstein, D., Kunzel, V., & Schafer, L. (2021) Global climate risk 2021. Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2019 and 2000–2019 [in English].
6. Eswaran, U., & Eswaran, V. (2023). Decarbonization: pathways for a sustainable future. *Journal on Future Engineering & Technology*, 18 (4) [in English].
7. Finkbeiner, M., & Bach, V. (2021). Life cycle assessment of decarbonization options–towards scientifically robust carbon neutrality. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26 (4), 635–639 [in English].
8. Martinich, J., & Crimmins, A. (2019). Climate damages and adaptation potential across diverse sectors of the United States. *Nature Climate Change*, 9, 397–404 [in English].
9. Market Stability Reserve. European Commission. Climate Action.EU Action. EU Emissions Trading System (CTB EC). Retrieved from: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/marketstability-reserve_en [in English].
10. Newman, R., & Noy, I. The global costs of extreme weather that are attributable to climate change. *Nat Commun* 14, 6103 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41888-1> [in English].
11. Oliveira, A.M., Beswick, R.R., & Yan, Y. (2021). A green hydrogen economy for a renewable energy society. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 33, 100701 [in English].
12. Regulation (EC) № 842/2006 of the European Parliament and of the Council of 17 May 2006 on certain fluorinated greenhouse gases. OJ L 161, 14.6.2006, p. 1–11. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006R0842> [in English].
13. Singhal, K., Pawar, A., & Deedwania, S. (2021). Impact of Climate Change on Oil and Gas Sector and Mitigation Approach for Sustainable Development. *Sustainable Climate Action and Water Management*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8237-0_19 [in English].
14. Schreyer, F., Luderer, G., Rodrigues, R., Pietzcker, R.C., Baumstark, L., Sugiyama, M., & Ueckerdt, F. (2020). Common but differentiated leadership: strategies and challenges for carbon neutrality by 2050 across industrialized economies. *Environmental Research Letters*, 15 (11), 114016 [in English].
15. The Politics of Climate Change: Environmental Dynamics in International Affairs (2009) / ed. P.G. Harris. London: Routledge. 240 p [in English].
16. Umar, M., Raza, M.Y., & Xu, Y. (2023). Determinants of CO₂ emissions and economic progress: a case from a developing economy. *Heliyon*, 9 (1) [in English].
17. Wüstenhagen, R., Wolsink, M., & Burer, M.J. (2007). Social Acceptance of Renewable Energy Innovation: An Introduction to the Concept. *Energy Policy*, 35 (5), 2683–2691 [in English].
18. Ziegler, R. (2016). Climate Neutrality – Towards An Ethical Conception of Climate Neutrality. *Ethics, Policy & Environment*, 19, 256–272 [in English].

Дата надходження статті: 17.09.2025

Дата прийняття статті: 29.10.2025

Опубліковано: 17.12.2025