УДК 336:338.43:551.583(477)
DOI: https://doi.org/10.32782/2708-0366/2026.30.19

Лабенко О.М.
доктор економічних наук, доцент,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9192-9891
Яковенко Я.І.
аспірант,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-8181-8083

Labenko Oleksandr, Yakovenko Yaroslav
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

ФІНАНСОВА ОЦІНКА КЛЮЧОВИХ НАПРЯМІВ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ

FINANCIAL ASSESSMENT OF KEY DECARBONISATION OPTIONS IN UKRAINIAN AGRICULTURE

У статті систематизовано країноспецифічні оцінки потенціалу скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів у сільському господарстві України та здійснено фінансову оцінку питомої вартості його реалізації. Уніфіковано вихідні кліматичні й вартісні параметри заходів із декарбонізації. Розраховано граничні витрати скорочення викидів для п'ятнадцяти сценаріїв та побудовано криву граничних витрат для тринадцяти кліматичних рішень. Ці рішення зіставлено за масштабом потенційного скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів та питомою вартістю досягнення такого результату. Показано, що обґрунтування пріоритетів фінансування потребує одночасного врахування обох критеріїв. Отримані результати можуть бути використані для попередньої оцінки доцільності масштабування окремих заходів і потреби у фінансовій підтримці їх впровадження.

Ключові слова: *граничні витрати скорочення викидів, MAC, крива граничних витрат, MACC, сільське господарство, Україна, потенціал скорочення викидів, парникові гази, декарбонізація, фінансова оцінка.*

The article systematises available country-specific estimates of the potential for reducing greenhouse gas emissions and enhancing removals in Ukraine's agriculture and provides a financial assessment of the unit cost of realising that potential. Data on emission reduction, removal and cost parameters have been converted into a comparable format. The decarbonisation measures are assessed over a common twenty-year horizon using a levelised marginal abatement cost derived within a net present value framework and a ten per cent discount rate as a standardised private investment benchmark. A marginal abatement cost curve is constructed for thirteen decarbonisation measures for which both unit cost estimates and aggregate emission reduction or removal potentials are available. The calculations reveal substantial differentiation among the assessed options. Optimisation of nitrogen application and minimum tillage generate negative unit costs under the adopted assumptions, indicating net financial savings alongside climate benefits. Cover crops, organic farming, no-till and strip-till combine relatively large potentials with comparatively low costs. Slow-release nitrogen fertilisers and inhibitors, biochar, land retirement, variable-rate fertiliser application and compost form the high-cost segment. Combining systematised estimates of physical potential with independently calculated unit costs provides a transparent and reproducible basis for comparing decarbonisation options while distinguishing the analysed sample from the total estimated potential of Ukraine's agriculture. It is shown that neither physical potential nor unit cost alone is sufficient for determining financing

© Лабенко О.М., Яковенко Я.І., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

priorities. The results can be used to substantiate differentiated financing arrangements: measures with high potential and negative or low costs may be considered for rapid scaling, whereas high-cost options with substantial potential may require stronger external incentives. The resulting curve should be treated as an initial comparative tool rather than a final ranking for public support.

Keywords: *marginal abatement cost, MAC, marginal abatement cost curve, MACC, agriculture, Ukraine, abatement potential, GHG, decarbonisation, financial assessment.*

Постановка проблеми. Виконання зобов'язань України за Паризькою угодою та реалізація взятого курсу на низьковуглецевий розвиток потребують визначення пріоритетних напрямків забезпечення зниження викидів та збільшення поглинання парникових газів [1]. Особливо актуальним це завдання є для сільського господарства, яке є важливою галуззю національної економіки та значним джерелом викидів, але водночас має великий потенціал не лише скорочення викидів парникових газів, а й їх поглинання [2]. Оскільки реалізація заходів із декарбонізації сільського господарства вимагає відповідного фінансового забезпечення, причому для різних заходів потреба у такому забезпеченні може суттєво різнитися, оцінки лише потенціалу зниження викидів недостатньо для визначення пріоритетів кліматичної політики. Це зумовлює потребу в поєднанні оцінювання потенційного екологічного ефекту кліматичних рішень із фінансовою оцінкою вартості його досягнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Країноспецифічні оцінки потенціалу скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів у сільському господарстві України представлені обмеженим колом джерел. У матеріалах з оцінювання технологічних потреб України визначено пріоритетні технології та бар'єри їх упровадження, однак охоплено лише окремі напрями декарбонізації галузі [3; 4]. Оновлений Національний план з енергетики та клімату [5], Другий національно визначений внесок України [1] і Довгострокова стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року [6] формують стратегічні та сценарні орієнтири, але не містять зіставних оцінок потенціалу і вартості реалізації окремих аграрних заходів. Наукові публікації переважно досліджують окремі аспекти проблеми, зокрема потенціал поглинання вуглецю ґрунтами [7]. Найповніший серед розглянутих джерел систематизований набір кількісних оцінок конкретних кліматичних заходів у сільському господарстві наведено у секторальному дослідженні Офісу зеленого переходу [2].

Для вартісної оцінки реалізації кліматичних заходів використовують показники граничних витрат скорочення викидів (marginal abatement cost, MAC) і відповідні криві (marginal abatement cost curve, MACC). Застосування цього інструментарію узагальнено у працях S. Huang та ін. [8], V. Eory та ін. [9] і M. MacLeod та ін. [10], які розглядають його як поширений засіб порівняльного оцінювання кліматичних заходів. Методики використання MAC у сільському господарстві представлені у матеріалах FAO [11], а прикладні MACC побудовано, зокрема, для аграрного сектору Великої Британії [12] і Франції [13]. Водночас F. Kesicki та P. Ekins [14], D. O'Brien та ін. [15], V. Eory та ін. [16] наголошують на залежності результатів від методики обліку, вихідних припущень і невизначеності параметрів, тому застосування цього інструментарію потребує прозорого розкриття розрахункових передумов. З огляду на зазначені методичні застереження, суттєвим обмеженням секторального дослідження Офісу зеленого переходу [2] є подання MACC лише у графічному вигляді, без числових значень MAC і розкриття формули їх розрахунку, що ускладнює відтворення та фінансову інтерпретацію наведених результатів.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проведений аналіз засвідчив, що для заходів із декарбонізації сільського господарства України недостатньо опрацьованими залишаються два взаємопов'язані аспекти: розрахунок зіставних значень граничних витрат скорочення викидів за прозорим і відтворюваним підходом із використанням актуальних вихідних параметрів та поєднання цих значень з оцін-

ками фізичного потенціалу скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів. Це обмежує можливості одночасного порівняння заходів за масштабом кліматичного результату та питомою вартістю його досягнення, побудови МАСС й обґрунтування пріоритетів фінансового забезпечення декарбонізації галузі.

Формулювання цілей статті. Метою статті є систематизація наявних оцінок потенціалу скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів у сільському господарстві України, розрахунок граничних витрат (МАС) для заходів, забезпечених необхідними вихідними даними, та побудова на цій основі кривої граничних витрат (МАСС).

Виклад основного матеріалу. Основним джерелом вихідних даних для проведення розрахунків обрано секторальне дослідження Офісу зеленого переходу [2], оскільки серед виявлених відкритих країноспецифічних джерел воно єдине поєднує широкий перелік аграрних кліматичних заходів із кількісними оцінками їх потенціалу та вартісними параметрами. Описані у дослідницькому звіті шість груп кліматичних рішень у систематизованому вигляді наведено у таблиці 1 зі збереженням термінології першоджерела.

За оцінкою авторів секторального дослідження, загальний потенціал скорочення викидів парникових газів і збільшення поглинання вуглецю становить близько 39 млн т CO_2-екв. на рік, з яких 20,9 млн т CO_2-екв. припадає на зменшення викидів від втрати органічного вуглецю та збільшення його поглинання, 15,1 млн т CO_2-екв. – на заміщення викопного палива в інших секторах завдяки енергетичному використанню аграрної біомаси, і лише 3,0 млн т CO_2-екв. – на пряме скорочення викидів безпосередньо у секторі «Сільське господарство» [2, с. 14]. Оскільки джерело декларує врахування взаємодії між заходами та використовує кліматичний потенціал окремих заходів як такий, що підлягає агрегуванню, хоча наведені у звіті дані не дають змоги це перевірити, зазначені потенціали використано як вихідні оцінки без самостійного переобчислення.

Із 22 кліматичних заходів, охоплених секторальним дослідженням, для 14 заходів наявні дані дозволяють сформувати достатньо уніфікований набір питомих кліматичних і вартісних параметрів для розрахунку МАС. Інші вісім заходів – п'ять біоенергетичних і три тваринницькі – через високу сценарну варіативність не включено до розрахунку МАС, але враховано при оцінці загального кліматичного потенціалу. Для 13 із 14 відібраних заходів у джерелі також наведено оцінку сукупного потенціалу скорочення викидів або збільшення поглинання, що дає змогу включити їх до побудови МАСС. Для використання гною як органічного добрива МАС розраховано окремо для гною великої рогатої худоби (ВРХ) і свиней через відмінності у капітальних витратах.

Вхідні параметри розрахунку МАС систематизовано в таблиці 2. Вартісні показники визначено як відхилення від базового сценарію: до них належать додаткові капітальні витрати, а також зміна поточних чистих витрат, що відображає чистий річний некапітальний ефект, включно з додатковими або зекономленими витратами та втраченими вигодами. Додатне значення означає зростання витрат, від'ємне – їх зменшення.

Питомий кліматичний ефект і вартісні параметри кожного заходу співвіднесено в єдиній функціональній одиниці: переважно на 1 га сільськогосподарських угідь, а для біочару та компосту – на 1 т внесеного матеріалу. Для розрахунків за всіма проєктами прийнято єдиний 20-річний горизонт оцінювання. Вибір такого періоду спирається на усталений у підходах IPCC [17; 18] часовий період оцінювання змін запасів ґрунтового вуглецю, практику комплексного ex ante оцінювання аграрних кліматичних заходів у EX-ACT [19] та країноспецифічні передумови використаної інформаційної бази [2]. Водночас поширення спільного 20-річного горизонту на всі заходи є розрахунковим припущенням цього дослідження, необхідним для їх зіставлення на єдиному часовому базисі.

Початкові додаткові капітальні витрати враховуються на початку періоду оцінювання. Для спеціалізованого обладнання, для якого в розрахунках прийнято 10-річний

Таблиця 1

Зведені оцінки потенціалу скорочення викидів і збільшення поглинання парникових газів у сільському господарстві України

Кліматичні рішення	Потенційний масштаб впровадження	Річний потенціал, млн т CO_2-екв.
Технології обробітку ґрунту		**6,2**
Безполицевий обробіток ґрунту	4 млн га	0,8
Поверхневий обробіток ґрунту (Mini-till)	6 млн га	1,8
Смуговий обробіток ґрунту (Strip-till)	3 млн га	1,5
Нульовий обробіток ґрунту (No-till)	3 млн га	2,1
Підвищення ефективності використання добрив		**1,6**
Використання добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів	1 млн га	0,2
Диференційоване внесення добрив та інші інструменти точного землеробства	15 млн га	0,6
Оптимізація обсягів, способів та часу внесення азоту	15 млн га	0,8
Зміна землекористування		**2,7**
Виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва	1 млн га	2,2
Відновлення осушених торфовищ	0,1 млн га	0,5
Збільшення обсягів внесення вуглецю		**12,0**
Використання покривних культур	6 млн га	9,0
Використання гною тварин як органічного добрива	н/д	н/д
Використання біочару	40 тис. т / рік	0,1
Використання компосту	1 млн т / рік (0,1 млн га)	0,1
Органічне землеробство	4 млн га	2,8
Енергетичне використання рослинних решток та іншої агросировини		**14,3**
Виробництво теплової енергії з рослинних решток	3,8 млн т н.е.	6,7
Комбіноване виробництво електричної та теплової енергії з рослинних решток	2,5 млн т н.е.	4,5
Виробництво біогазу та біометану	н/д	1,2
Виробництво біодизелю	368 млн л / рік	0,6
Виробництво біоетанолу	1263 млн л / рік	1,3
Скорочення викидів у тваринництві		**2,1**
Використання кормових добавок	н/д *	0,6
Виробництво біогазу з відходів тваринництва	0,4 млрд м^3 CH_4	1,3
Покращення систем поводження з відходами тваринництва	н/д *	0,2
ВСЬОГО		**38,9**

Примітка: «н/д» – у джерелі не наведено зведеної кількісної оцінки потенційного масштабу за відповідним заходом.

Джерело: складено авторами за матеріалами [2]

строк служби, передбачається його заміна після завершення десятого року експлуатації з повторним виникненням відповідних капітальних витрат. Це припущення не поширюється на капітальні витрати, що за своєю природою є одноразовими, зокрема на витрати з відновлення осушених торфовищ.

Для фінансової оцінки відібраних заходів використано вирівняний показник граничних витрат (levelized marginal abatement cost – MAC). Він визначає сталу ціну

Таблиця 2

Вхідні кліматичні та вартісні параметри для розрахунку MAC

Кліматичні рішення	Питомий кліматичний ефект	Додаткові капітальні витрати	Зміна поточних чистих витрат
Технології обробітку ґрунту			
Безполицевий обробіток ґрунту	0,20 т CO_2-екв./га/рік	80 дол./га	-5 дол./га/рік
Поверхневий обробіток ґрунту (Mini-till)	0,30 т CO_2-екв./га/рік	60 дол./га	-20 дол./га/рік
Смуговий обробіток ґрунту (Strip-till)	0,50 т CO_2-екв./га/рік	120 дол./га	-14 дол./га/рік
Нульовий обробіток ґрунту (No-till)	0,70 т CO_2-екв./га/рік	130 дол./га	-13 дол./га/рік
Підвищення ефективності використання добрив			
Використання добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів	0,20 т CO_2-екв./га/рік	0	+67 дол./га/рік
Диференційоване внесення добрив та інші інструменти точного землеробства	0,04 т CO_2-екв./га/рік	20 дол./га	+4 дол./га/рік
Оптимізація обсягів, способів та часу внесення азоту	0,05 т CO_2-екв./га/рік	0	-4 дол./га/рік
Зміна землекористування			
Виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва	2,20 т CO_2-екв./га/рік	0	+500 дол./га/рік
Відновлення осушених торфовищ	5,00 т CO_2-екв./га/рік	3000 дол./га	0
Збільшення обсягів внесення вуглецю			
Використання покривних культур	1,50 т CO_2-екв./га/рік	10 дол./га	+70 дол./га/рік
Використання гною тварин як органічного добрива (ВРХ)	0,50 т CO_2-екв./га/рік	100 дол./га	+1 дол./га/рік
Використання гною тварин як органічного добрива (свині)	0,50 т CO_2-екв./га/рік	200 дол./га	+1 дол./га/рік
Використання біочару	2,50 т CO_2-екв./т біочару	0	+600 дол./т біочару
Використання компосту	0,10 т CO_2-екв./т компосту	0	+15 дол./т компосту
Органічне землеробство	0,70 т CO_2-екв./га/рік	0	+10 дол./га/рік

Примітка: додатні значення зміни поточних чистих витрат означають їх збільшення відносно базового сценарію, від'ємні – зменшення (економію).

Джерело: складено авторами за матеріалами [2]

1 т CO_2-екв., за якої чиста теперішня вартість заходу з урахуванням вартісної оцінки його кліматичного результату дорівнює нулю [20; 21; 22].

Відповідно, вирівняний (levelized) MAC розраховується за формулою:

$$MAC = -\frac{\sum_{t=0}^{T} \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{T} \frac{A_t}{(1+r)^t}}, \quad (1)$$

де MAC – граничні витрати скорочення викидів, дол./т CO_2-екв.; t=0,1,…,T – часовий індекс, де t=0 відповідає початковому моменту здійснення капітальних витрат, t=1,…,T – рокам реалізації заходу, а T=20 – прийнятому горизонту оцінювання; CF_t – чистий інкрементний грошовий потік у періоді t; A_t – обсяг скорочення або поглинання викидів у році t, т CO_2-екв. на відповідну функціональну аналітичну одиницю; r – ставка дисконтування.

У грошових потоках додаткові витрати відображаються зі знаком «−», а економія та інші фінансові вигоди – зі знаком «+». Відповідно, для подання МАС як вартості скорочення викидів у формулі перед дробом використовується знак «−», в результаті чого додатне значення МАС відповідає чистим витратам, від'ємне – чистій фінансовій вигоді від реалізації заходу.

Грошові потоки сумуються, починаючи з періоду t=0, для врахування початкових капітальних витрат; кліматичний ефект натомість виникає, починаючи з першого року реалізації заходу (t=1).

Застосування коефіцієнта дисконтування до знаменника в цій формулі не означає буквального дисконтування фізичних обсягів скорочення викидів або поглинання. Такий математичний запис є алгебраїчним наслідком приведення до теперішньої вартості умовного грошового потоку, визначеного як добуток сталої ціни одиниці кліматичного результату на його річний обсяг [20; 21; 22].

Для розрахунків прийнято ставку дисконтування r = 10%, яку FAO наводить як типовий орієнтир приватної ставки для оцінювання вартості заходів на рівні сільськогосподарського підприємства [11, с. 21]. У дослідженні її використано як стандартизований приватно-інвестиційний сценарій для зіставлення заходів, а не як емпіричну оцінку фактичної вартості капіталу аграрних підприємств України.

Результати розрахунку МАС для досліджуваних кліматичних рішень щодо зниження викидів та збільшення поглинання парникових газів у сільському господарстві України наведені у таблиці 3.

Таблиця 3

Граничні витрати на скорочення викидів та збільшення поглинання парникових газів (МАС) у сільському господарстві України

Кліматичні рішення	МАС, дол./т CO_2-екв.
Технології обробітку ґрунту	
Безполицевий обробіток ґрунту	40,10
Поверхневий обробіток ґрунту (Mini-till)	-34,12
Смуговий обробіток ґрунту (Strip-till)	11,06
Нульовий обробіток ґрунту (No-till)	11,65
Підвищення ефективності використання добрив	
Використання добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів	335,00
Диференційоване внесення добрив та інші інструменти точного землеробства	181,37
Оптимізація обсягів, способів та часу внесення азоту	-80,00
Зміна землекористування	
Виведення земельних ділянок із сільськогосподарського виробництва	227,27
Відновлення осушених торфовищ	70,48
Збільшення обсягів внесення вуглецю	
Використання покривних культур	47,75
Використання гною ВРХ як органічного добрива	34,55
Використання гною свиней як органічного добрива	67,10
Використання біочару	240,00
Використання компосту	150,00
Органічне землеробство	14,29

Джерело: розраховано авторами на основі даних [2], систематизованих та адаптованих для розрахунків у таблиці 2

Розраховані значення МАС істотно різняться – від -80,00 до 335,00 дол./т CO_2-екв. Від'ємні значення отримано для оптимізації обсягів, способів і часу внесення азоту (-80,00 дол./т CO_2-екв.) та поверхневого обробітку ґрунту (-34,12 дол./т CO_2-екв.), що за прийнятих параметрів свідчить про поєднання кліматичного ефекту із чистою фінансовою економією. До найдорожчих належать використання добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів, біочару й компосту, виведення земель із сільськогосподарського виробництва та диференційоване внесення добрив, МАС яких становить 150,00–335,00 дол./т CO_2-екв.

Для поєднання оцінок питомих витрат і потенціалу скорочення викидів за окремими кліматичними заходами побудовано криву граничних витрат на скорочення викидів (МАСС), наведену на рисунку 1. До її побудови включено 13 заходів, для яких наявні як розраховані значення МАС, так і оцінки сукупного потенціалу. Потенціали заходів прийнято відповідно до таблиці 1 та агреговано за розрахунковою логікою першоджерела [2]. Варто зазначити, що на відміну від індикативної МАСС першоджерела, для якої не наведено числових значень і не розкрито розрахункового підходу, рисунок 1 побудовано за самостійно розрахованими МАС на основі систематизованих вихідних даних.

Побудована МАСС охоплює 13 кліматичних заходів із сукупним потенціалом 22,5 млн т CO_2-екв. на рік, або 57,8% загального потенціалу 38,9 млн т CO_2-екв., оціненого Офісом зеленого переходу [2]. Неохоплена частина припадає переважно на біоенергетичні та тваринницькі заходи, для яких МАС не розраховано. Отже, крива характеризує вартісну структуру досліджуваної вибірки, а не всього оціненого потенціалу сільського господарства України.

Із представленого потенціалу 2,6 млн т CO_2-екв. на рік припадає на заходи з від'ємними МАС: оптимізацію обсягів, способів і часу внесення азоту – 0,8 млн т та mini-



Рис. 1. Крива граничних витрат скорочення викидів та збільшення поглинання парникових газів (МАСС) за дослідженою вибіркою кліматичних рішень для сільського господарства України

Джерело: сформовано авторами

till – 1,8 млн т. Загалом 18,8 млн т CO_2-екв., або 83,6% потенціалу МАСС, забезпечують заходи з МАС до 47,75 дол./т CO_2-екв.; найбільшу частку становлять покривні культури – 9,0 млн т, або 40,0%. Решта 3,7 млн т CO_2-екв. припадає на дорожчий сегмент: серед заходів із високими МАС виведення земель із сільськогосподарського виробництва вирізняється порівняно значним потенціалом – 2,2 млн т, тоді як потенціали біочару, компосту та добрив із сповільненим виділенням азоту й інгібіторів становлять лише 0,1–0,2 млн т CO_2-екв.

Результати підтверджують необхідність спільного врахування фізичного потенціалу та питомої вартості. Особливий інтерес становлять заходи зі значним потенціалом і від'ємними або порівняно низькими МАС, тоді як високовартісні заходи зі значним потенціалом можуть потребувати посиленого зовнішнього фінансового стимулювання. Водночас МАСС не є готовим ранжуванням пріоритетів державної підтримки, оскільки не враховує всіх супутніх вигід і витрат, ризиків, фінансових бар'єрів та часової структури фінансування. Оцінки залежать від параметрів і сценарних припущень першоджерела, а фактичні результати – від природно-кліматичних, технологічних і фінансових умов конкретного господарства. З огляду на можливу взаємодію агрегованих потенціалів отримані значення слід трактувати як порівняльні сценарні оцінки, а не як прогноз фактичних витрат чи гарантованого кліматичного результату.

Висновки. Проведене дослідження засвідчило істотну диференціацію вартості реалізації різних заходів декарбонізації сільського господарства України. Оптимізація обсягів, способів і часу внесення азоту та mini-till мають від'ємні МАС, тоді як покривні культури, органічне землеробство, no-till і strip-till поєднують значний потенціал із порівняно низькою питомою вартістю. Натомість використання добрив із сповільненим виділенням азоту та інгібіторів, біочару, виведення земель із сільськогосподарського виробництва, диференційоване внесення добрив і використання компосту характеризуються високими МАС та, у разі визнання їх пріоритетними, потребуватимуть суттєвішого зовнішнього стимулювання. Отже, фінансове забезпечення декарбонізації галузі доцільно диференціювати за співвідношенням потенціалу і питомої вартості заходів. Водночас МАСС слід розглядати лише як первинну порівняльну основу: остаточний вибір інструментів має додатково враховувати початкову потребу в капіталі, умови фінансування, ризики, супутні ефекти та особливості конкретних господарств. Подальші дослідження будуть спрямовані на опрацювання зазначених аспектів.

Список використаних джерел:

1. Другий національно визначений внесок України до Паризької угоди: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 29 жовтня 2025 р. № 1172-р. UNFCCC. URL: https://unfccc.int/node/653298 (дата звернення: 24.09.2026).

2. Офіс зеленого переходу. Сільське господарство: сталі практики для продовольчої безпеки і досягнення кліматичних цілей. Секторальне дослідження потенціалу скорочення викидів парникових газів і збільшення поглинання вуглецю. Київ, 2025. 184 с. URL: https://gto.dixigroup.org/assets/images/files/gto-agriculture-sectoral-study-2025.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

3. UNFCCC. Ukraine: Technology Needs Assessment – Mitigation Report. 2019. URL: https://unfccc.int/ttclear/TNA/UKR-TNA-TNA_Mitigation_2019.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

4. UNFCCC. Ukraine: Technology Action Plan (TAP) – Mitigation. 2021. URL: https://unfccc.int/ttclear/TNA/UKR-TAP-TAP_Mitigation_2021.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

5. Національний план з енергетики та клімату на період до 2030 року: схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 10 червня 2026 р. № 562-р. Київ, 2026. 475 с. URL: https://www.me.gov.ua/download/584f6ca3-408d-44c0-b34f-77d57b09607e/file.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

6. Long-Term Low-Emission Development Strategy of Ukraine until 2050 : approved by the Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 10, 2026, No. 561-r. 2026. 160 p. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Ukraine_LT_LEDS_2050_10062026_EN.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

7. Achasova A., Achasov A., Titenko G., Krivtsov V. Some approaches to measuring soil's carbon sequestration potential in Ukraine. *Proceedings of the 5th International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence (ISC SAI 2022): Sustainable Development and Global Climate Change*. SciTePress, 2022. P. 40–50. DOI: https://doi.org/10.5220/0011341000003350

8. Huang S., Kuo L., Chou K.-L. The applicability of marginal abatement cost approach: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 127. P. 59–71. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.013

9. Eory V. et al. Marginal abatement cost curves for agricultural climate policy: state-of-the-art, lessons learnt and future potential. *Journal of Cleaner Production.* 2018. Vol. 182. P. 705–716. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.252

10. MacLeod M., Eory V., Gruère G., Lankoski J. Cost-effectiveness of greenhouse gas mitigation measures for agriculture: a literature review. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. Paris: OECD Publishing, 2015. No. 89. DOI: https://doi.org/10.1787/5jrvvkq900vj-en

11. Bockel L., Sutter P., Touchemoulin O., Jönsson M. Using marginal abatement cost curves to realize the economic appraisal of climate smart agriculture policy options. Rome: FAO, 2012. 36 p. URL: https://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/Technical_guidelines/ex-act_MACC_116EN.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

12. MacLeod M. et al. Developing greenhouse gas marginal abatement cost curves for agricultural emissions from crops and soils in the UK. *Agricultural Systems*. 2010. Vol. 103, No. 4. P. 198–209. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.01.002

13. Pellerin S. et al. Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environmental Science & Policy*. 2017. Vol. 77. P. 130–139. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.003

14. Kesicki F., Ekins P. Marginal abatement cost curves: a call for caution. *Climate Policy.* 2012. Vol. 12, No. 2. P. 219–236. DOI: https://doi.org/10.1080/14693062.2011.582347

15. O'Brien D. et al. An evaluation of the effect of greenhouse gas accounting methods on a marginal abatement cost curve for Irish agricultural greenhouse gas emissions. *Environmental Science & Policy*. 2014. Vol. 39. P. 107–118. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.001

16. Eory V., Topp C.F.E., Butler A., Moran D. Addressing uncertainty in efficient mitigation of agricultural greenhouse gas emissions. *Journal of Agricultural Economics*. 2018. Vol. 69, No. 3. P. 627–645. DOI: https://doi.org/10.1111/1477-9552.12269

17. IPCC. Chapter 2: Generic methodologies applicable to multiple land-use categories. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. 2019. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch02_Generic%20Methods.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

18. IPCC. Chapter 5: Cropland. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. 2019. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch05_Cropland.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

19. FAO. Ex-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT): Guidelines. 2nd ed., tool version 9. Rome : FAO, 2022. DOI: https://doi.org/10.4060/cc0142en

20. Catton W., Hefford O. Abatement cost methodology for assessing co-funding applications: Government Investment in Decarbonising Industry Fund. Wellington : EECA, 2023. 29 p. URL: https://www.eeca.govt.nz/assets/EECA-Resources/Co-funding/GIDI-Files/GIDI-levelised-abatement-cost-methodology.pdf (дата звернення: 24.09.2026).

21. Baker E.D., Khatami S.N. The levelized cost of carbon: a practical, if imperfect, method to compare CO_2 abatement projects. *Climate Policy.* 2019. Vol. 19, No. 9. P. 1132–1143. DOI: https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1634508.

22. IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / eds. O. Edenhofer et al. Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2014. 1435 p. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416

References:

1. Druhyi natsionalno vyznachenyi vnesok Ukrainy do Paryzkoi uhody [Second Nationally Determined Contribution of Ukraine to the Paris Agreement]. (2025). Approved by Resolution of

the Cabinet of Ministers of Ukraine dated October 29, 2025, No. 1172-r. UNFCCC. Available at: https://unfccc.int/node/653298 (accessed September 24, 2026). (in Ukrainian).

2. Ofis zelenoho perekhodu [Green Transition Office]. (2025). Silske hospodarstvo: stali praktyky dlia prodovolchoi bezpeky i dosiahnennia klimatychnykh tsilei. Sektoralne doslidzhennia potentsialu skorochennia vykydiv parnykovykh haziv i zbilshennia pohlynannia vuhletsiu [Agriculture: sustainable practices for food security and achieving climate goals. Sectoral study of the potential for reducing greenhouse gas emissions and increasing carbon sequestration]. Kyiv, 184 p. Available at: https://gto.dixigroup.org/assets/images/files/gto-agriculture-sectoral-study-2025.pdf (accessed September 24, 2026). (in Ukrainian).

3. UNFCCC (2019). Ukraine: Technology Needs Assessment – Mitigation Report. Available at: https://unfccc.int/ttclear/TNA/UKR-TNA-TNA_Mitigation_2019.pdf (accessed September 24, 2026).

4. UNFCCC (2021). Ukraine: Technology Action Plan (TAP) – Mitigation. Available at: https://unfccc.int/ttclear/TNA/UKR-TAP-TAP_Mitigation_2021.pdf (accessed September 24, 2026).

5. Natsionalnyi plan z enerhetyky ta klimatu na period do 2030 roku [National Energy and Climate Plan until 2030]. (2026). Approved by the Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 10, 2026, No. 562-r. Kyiv, 475 p. Available at: https://www.me.gov.ua/download/584f6ca3-408d-44c0-b34f-77d57b09607e/file.pdf (accessed September 24, 2026). (in Ukrainian).

6. Long-Term Low-Emission Development Strategy of Ukraine until 2050. (2026). Approved by Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated June 10, 2026, No. 561-r. 160 p. Available at: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Ukraine_LT_LEDS_2050_10062026_EN.pdf (accessed September 24, 2026).

7. Achasova A., Achasov A., Titenko G., Krivtsov V. (2022). Some approaches to measuring soil's carbon sequestration potential in Ukraine. In *Proceedings of the 5th International Scientific Congress Society of Ambient Intelligence (ISC SAI 2022): Sustainable Development and Global Climate Change* (pp. 40–50). SciTePress. DOI: https://doi.org/10.5220/0011341000003350

8. Huang S., Kuo L., Chou K.-L. (2016). The applicability of marginal abatement cost approach: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, vol. 127, pp. 59–71. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.013

9. Eory V. et al. (2018). Marginal abatement cost curves for agricultural climate policy: state-of-the-art, lessons learnt and future potential. *Journal of Cleaner Production*, vol. 182, pp. 705–716. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.252

10. MacLeod M., Eory V., Gruère G., Lankoski J. (2015). Cost-effectiveness of greenhouse gas mitigation measures for agriculture: a literature review. OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, no. 89. Paris: OECD Publishing. DOI: https://doi.org/10.1787/5jrvvkq900vj-en

11. Bockel L., Sutter P., Touchemoulin O., Jönsson M. (2012). Using marginal abatement cost curves to realize the economic appraisal of climate smart agriculture policy options. Rome: FAO. 36 p. Available at: https://www.fao.org/fileadmin/templates/ex_act/pdf/Technical_guidelines/ex-act_MACC_116EN.pdf (accessed September 24, 2026).

12. MacLeod M. et al. (2010). Developing greenhouse gas marginal abatement cost curves for agricultural emissions from crops and soils in the UK. *Agricultural Systems*, vol. 103, no. 4, pp. 198–209. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.01.002

13. Pellerin S. et al. (2017). Identifying cost-competitive greenhouse gas mitigation potential of French agriculture. *Environmental Science & Policy*, vol. 77, pp. 130–139. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.08.003

14. Kesicki F., Ekins P. (2012). Marginal abatement cost curves: a call for caution. *Climate Policy*, vol. 12, no. 2, pp. 219–236. DOI: https://doi.org/10.1080/14693062.2011.582347

15. O'Brien D. et al. (2014). An evaluation of the effect of greenhouse gas accounting methods on a marginal abatement cost curve for Irish agricultural greenhouse gas emissions. *Environmental Science & Policy*, vol. 39, pp. 107–118. DOI: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.09.001

16. Eory V., Topp C.F.E., Butler A., Moran D. (2018). Addressing uncertainty in efficient mitigation of agricultural greenhouse gas emissions. *Journal of Agricultural Economics*, vol. 69, no. 3, pp. 627–645. DOI: https://doi.org/10.1111/1477-9552.12269

17. IPCC (2019). Chapter 2: Generic methodologies applicable to multiple land-use categories. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Available at: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch02_Generic%20Methods.pdf (accessed September 24, 2026).

18. IPCC (2019). Chapter 5: Cropland. *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use*. Available at: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch05_Cropland.pdf (accessed September 24, 2026).

19. FAO (2022). Ex-Ante Carbon-balance Tool (EX-ACT): Guidelines (2nd ed., tool version 9). Rome: FAO. DOI: https://doi.org/10.4060/cc0142en.

20. Catton W., Hefford O. (2023). Abatement cost methodology for assessing co-funding applications: Government Investment in Decarbonising Industry Fund. Wellington: EECA. 29 p. Available at: https://www.eeca.govt.nz/assets/EECA-Resources/Co-funding/GIDI-Files/GIDI-levelised-abatement-cost-methodology.pdf (accessed September 24, 2026).

21. Baker E.D., Khatami S.N. (2019). The levelized cost of carbon: a practical, if imperfect, method to compare CO_2 abatement projects. *Climate Policy*, vol. 19, no. 9, pp. 1132–1143. DOI: https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1634508

22. IPCC (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. O. Edenhofer et al. (Eds.). Cambridge; New York: Cambridge University Press. DOI: https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416.

Дата надходження статті: 26.09.2026
Дата прийняття статті до публікації: 23.10.2026
Дата публікації статті: 27.11.2026