

УДК 338.43:620.92:631.53

А. В. Доронін,

к. е. н., старший науковий співробітник,

Інститут агроєкології і природокористування НААН

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2106-6239>

В. М. Сінченко,

д. с.-г. н., професор, член-кореспондент НААН,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6571-2522>

В. В. Дрига,

д. с.-г. н., старший дослідник,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8085-5313>

В. А. Доронін,

д. с.-г. н., професор,

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9355-881X>

DOI: 10.32702/2306-6792.2026.8.70

ЕКОНОМІЧНІ ТА ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ НАСІННЯ БУРЯКІВ ЦУКРОВИХ У КОНТЕКСТІ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

A. Doronin,

PhD in Economics, Senior Researcher, Institute of Agroecology and Environmental Management
of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

V. Sinchenko,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Corresponding Member of NAAS,

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS

V. Dryha,

Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS

V. Doronin,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet of NAAS

ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF OPTIMIZING SUGAR BEET SEED PRODUCTION TECHNOLOGY IN THE CONTEXT OF AGRICULTURAL DECARBONIZATION

У статті здійснено комплексне дослідження економічних та екологічних аспектів оптимізації технології вирощування насіння буряків цукрових у контексті декарбонізації аграрного виробництва. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю скорочення викидів парникових газів у сільському господарстві та підвищення ефективності використання ресурсів в умовах глобальних кліматичних змін. Особлива увага приділяється ролі аграрного сектору як джерела викидів і водночас як потенційного інструменту їх зменшення шляхом впровадження сталих технологій і підвищення здатності агроєкосистем до поглинання вуглецю. Метою дослідження є наукове обґрунтування та оцінка ефективності оптимізованих технологій вирощування маточних буряків і насінників на основі поєднання економічних та екологічних критеріїв.



Методологічну основу дослідження становить системний підхід, який включає методи порівняльного аналізу, розрахунково-конструктивний, монографічний, а також методи індукції, дедукції та абстрактно-логічного узагальнення. Проведено детальний порівняльний аналіз існуючої та оптимізованої технологій вирощування насіння буряків цукрових з урахуванням кількості технологічних операцій, витрат пального, норм внесення мінеральних добрив та засобів захисту рослин. Розрахунок викидів діоксиду вуглецю здійснювався за кожним етапом технологічного процесу відповідно до загальноприйнятих методик оцінювання викидів парникових газів у рослинництві.

Результати дослідження свідчать, що оптимізація технологічних елементів дозволяє суттєво зменшити агротехнологічне навантаження на ґрунт і скоротити викиди діоксиду вуглецю. Зокрема, зменшення норм внесення мінеральних добрив та раціоналізація технологічних операцій забезпечили зниження викидів CO₂ у 3,22 рази при вирощуванні маточних буряків і у 1,40 рази — при вирощуванні насінників порівняно з існуючою технологією. Загалом оптимізована технологія забезпечила скорочення викидів на 15,2 %. Крім того, кількість технологічних операцій скоротилася до 49 %, що сприяло зменшенню витрат пального та зниженню собівартості продукції.

Важливим елементом дослідження є обґрунтування використання побічної продукції, зокрема соломи, як джерела органічної речовини для підтримання родючості ґрунтів та зменшення потреби у мінеральних добривах. Такий підхід сприяє накопиченню вуглецю в ґрунті та формуванню більш стійких агроєкосистем.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження оптимізованих технологій у виробництво з метою зниження витрат, підвищення економічної ефективності, збільшення продуктивності та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору. Запропоновані технологічні рішення сприяють пом'якшенню наслідків зміни клімату та підвищенню екологічної стійкості аграрного виробництва.

The article presents a comprehensive study of the economic and environmental aspects of optimizing sugar beet seed production technology within the framework of agricultural decarbonization. The relevance of the research is driven by the urgent need to reduce greenhouse gas emissions in agriculture while improving the efficiency of resource use under the conditions of global climate change. Particular attention is paid to the dual role of agriculture as both a source of emissions and a sector with significant potential for carbon sequestration and sustainable transformation. The purpose of the study is to provide scientific justification and evaluate the effectiveness of optimized technological approaches to growing sugar beet mother roots and seed plants based on a combination of economic and environmental criteria.

The methodological framework of the research is based on a systems approach and includes comparative analysis, computational and constructive methods, monographic analysis, as well as induction, deduction, and abstract-logical generalization. A detailed comparison of conventional and optimized production technologies was conducted, taking into account key parameters such as the number of technological operations, fuel consumption, application rates of mineral fertilizers, and plant protection products. Carbon dioxide emissions were calculated for each stage of the technological process using established methodologies for greenhouse gas emission assessment in crop production.

The results of the study demonstrate that optimization of technological elements significantly reduces agrotechnological pressure on soil and contributes to lowering carbon dioxide emissions. In particular, the reduction of fertilizer application rates and the rationalization of technological operations led to a decrease in CO₂ emissions by 3.22 times in mother root cultivation and by 1.40 times in seed production compared to conventional technology. Overall, the optimized technology ensured a 15.2% reduction in emissions. Additionally, the number of technological operations was reduced by up to 49%, which contributed to lower fuel consumption and production costs.

The study also highlights the importance of incorporating crop residues, particularly straw, into soil management systems as a means of maintaining soil fertility and reducing dependence on mineral fertilizers. This approach enhances carbon sequestration and supports sustainable agricultural practices.

The practical significance of the findings lies in the possibility of implementing optimized technologies in agricultural production to reduce costs, improve economic efficiency, increase productivity, and ensure sustainable development of the agricultural sector. The proposed technological improvements contribute to climate change mitigation and strengthen the environmental resilience of agroecosystems, making them highly relevant for modern agricultural policy and practice.

Ключові слова: цукрові буряки; насінництво; декарбонізація; викиди CO₂; оптимізація технологій; агроєкологія; економічна ефективність; агротехнології; сталий розвиток; біоенергетика.

Key words: sugar beet; seed production; decarbonization; CO₂ emissions; technology optimization; agroecology; economic efficiency; agrotechnologies; sustainable development; bioenergy.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Практичний інтерес для виготовлення біопалива із фітомаси представляють такі

рослини як буряки цукрові, просо прутоподібне (світграс), цукрове сорго, міскантус [1]. Однією з перспективних культур є буряки цукрові, які можна використовувати для виробництва рідкого біопалива — біоетанолу [2] та газоподібного — біогазу [3]. Але

для вирощування культури необхідно мати достатню кількість якісного насіння без якого не можливе впровадження культури у виробництво та виготовлення біопалива. Вирощування насіння буряків цукрових включає цілий ряд елементів технології і є енерговитратним, що призводить до збільшення викидів діоксиду вуглецю в атмосферу. Насіння вирощують упродовж двох років: в перший рік — маточні буряки, які в другому році висаджують і отримують насінники з яких збирають урожай. Тому, оптимізація технології вирощування насіння з використанням сучасних засобів виробництва, направлених на зменшення викидів діоксиду вуглецю є актуальним.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У контексті зміни клімату вкрай важливо дослідити вплив технології вирощування насіння буряків цукрових на викиди парникових газів. Адже, відомого, що біля 20 % від загальносвітових викидів парникових газів припадає на сільське господарство за рахунок метану, що виділяється тваринництвом, закису азоту, що використовується в сільському господарстві як добрива, а також споживання енергії та викопних видів палива [4]. Викиди парникових газів є однією з найактуальніших проблем нашого часу, яка впливає на всі аспекти нашого довкілля та глобального клімату. Враховуючи екологічні та кліматичні наслідки, всі країни стикаються з проблемою скорочення викидів парникових газів. Розуміння внеску кожної країни в загальний обсяг викидів є ключовим аспектом розробки ефективних стратегій боротьби зі зміною клімату [5]. Тому, Паризькою угодою 2015 року встановила довгострокову мету "обмежити підвищення температури до менш ніж 2 градусів Цельсія в порівнянні з доіндустріальним рівнем і прагнути до підвищення температури менш ніж на 1,5 градуса Цельсія" [6]. Підвищення температури зумовлено викидами парникових газів, які є основними рушійними силами зміни клімату, що значною мірою зумовлене діяльністю людини [7]. Щоб зупинити зміну клімату, необхідно зупинити збільшення кількості парникових газів, таких як вуглекислий газ. Саме оптимізована технологія вирощування насіння буряків цукрових передбачає значне зменшення викидів вуглекислого газу за рахунок зменшення технологічних операцій та оптимізації удобрення культури.

На агроекологічні умови вирощування високоякісного насіння цукрових буряків впли-

вають абіотичні, біотичні та антропогенні чинники. Тому важливо знати, на які чинники можна вплинути певними господарськими заходами, а до яких слід пристосуватися. Абіотичні чинники — це комплекс умов довкілля, що має прямий або опосередкований вплив на насіння. Дія біотичних чинників зумовлена впливом на насіння діяльності інших живих організмів. Антропогенні чинники, це елементи технології вирощування насіння, які зумовлені діяльністю людини [8]. Існуюча технологія вирощування маточних буряків і насінників базувалася на малопродуктивних засобах виробництва — сільськогосподарській техніці та тракторах, що призводило до збільшення матеріальних витрат, кількості технологічних операцій та терміну виконання робіт. Оптимізована технологія вирощування базується на нових засобах виробництва, що значно зменшує кількість технологічних операцій матеріальних витрат і, особливо палива та мінеральних добрив, що забезпечує зменшення викидів діоксиду вуглецю в атмосферу і частково запобігає посиленню парникового ефекту. Адже, до основних антропогенних джерел парникового ефекту належать: енергетика, транспорт, скорочення площ лісових екосистем і сільське господарство [9].

Світова спільнота аналізуючи вплив зростання викидів парникових газів на зміну клімату та розробляє невідкладні заходи для зменшення викидів CO₂ та інших шкідливих речовин в атмосферу. Досліджуються сучасні підходи та ініціативи, спрямовані на декарбонізацію, такі як: використання відновлюваних джерел енергії, впровадження "зелених" технологій у промисловості, проекти забезпечення енергоефективності, розвиток електромобільності та інші [10]. На думку Макурін А., Макуріна О. зміни клімату є неминучими та рухаються не хаотично, а вже лінійно і має тенденцію до збільшення. Оскільки ЄС намагається досягти кліматичної нейтральності посилюється контроль за всіма територіями, громадами та підприємствами які впливають на навколишнє середовище [11]. Міжнародні зусилля у сфері формування сучасної кліматично-нейтральної економіки охоплює ключові події та угоди за останні 50 років, відтворюючи особливості розвитку теми з моменту проведення Стокгольмської конференції ООН, Саміту в Ріо, Кіотського протоколу, Паризької та Зеленої угод, кліматичних пактів COP та інших але на сьогодні недостатній рівень консолідації міжнародних зусиль у напрямку скорочення вуглецевого сліду світової економіки, що обумовлює

необхідність впровадження більш жорстких механізмів за глобальному рівні [12].

**ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ
(ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ)**

Метою дослідження є наукове обґрунтування та оцінка ефективності оптимізації технології вирощування маточних буряків цукрових та насінників з позицій економічної доцільності та екологічної безпеки в умовах декарбонізації аграрного виробництва.

**МАТЕРІАЛИ
ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Дослідження проводили упродовж 2025 р. методом аналізу існуючих технологій вирощування маточних буряків і насінників та розроблених оптимізованих технологій з врахуванням нових технічних засобів — сільськогосподарських машин і тракторів, доз мінеральних добрив та засобів захисту рослин.

У процесі написання статті застосовано методи системного аналізу й логічного узагальнення для дослідження перспектив скорочення викидів вуглецю в атмосферу за вирощування насіння буряків цукрових для біоенергетики; порівняльний аналіз — у процесі аналізу статистичної інформації; розрахунково-конструктивний — при визначенні показників ефективності використання оптимізованої технології порівняно з чинною; монографічним методом обґрунтовано необхідність удосконалення технології, що забезпечить зменшення викидів вуглецю; індукції та дедукції — для узагальнення результатів дослідження; абстрактно-логічний — при формулюванні висновків і пропозицій.

Оптимізацію елементів технології вирощування маточних буряків і насінників та визначення викидів діоксиду вуглецю проводили по чотирьох розділах кожної технологічної карти: розділ 1 "Основний обробіток ґрунту", розділ 2 "Передпосівний обробіток ґрунту і сівба (садіння висадків)", розділ 3 "Догляд за посівами маточників (насадженнями насінників)" і розділ 4 "Збирання маточних буряків цукрових (збирання насіння)".

Визначення викидів діоксиду вуглецю розраховували по кожній технологічній операції відповідного розділу (витрат пального на їх виконання) кожного етапу вирощування, кількості і форми мінеральних добрив та інсектофунгіцидів) за методикою

викидів парникових газів від вирощування сировини та методикою розрахунків накопичення CO₂ сільськогосподарськими культурами [13].

**ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ
ДОСЛІДЖЕННЯ**

Встановлено закономірності надходження в атмосферу діоксиду вуглецю залежно від елементів технології вирощування маточних буряків і насінників і визначені заходи зменшення викидів вуглецю в атмосферу за рахунок оптимізації технологічних операцій, застосування мінеральної системи удобрення з використанням побічної продукції (соломи), що дає можливість зменшити кількість добрив без зниження продуктивності буряків.

Оптимізацію елементів технології проводили враховуючи нові продуктивніші технічні засоби для їх виконання, що забезпечує значне зменшення агротехнологічного навантаження на ґрунт за рахунок зменшення кількості технологічних операцій (рис. 1) та зменшення викидів діоксиду вуглецю в атмосферу.

За існуючої технології для вирощування маточних буряків необхідно було провести 51, а насінників 50 технологічних операцій, водночас як за оптимізованої технології їх зменшилося, відповідно — на 25 та 20 штук або на 49% та 40%.

Для декарбонізації вуглецю передбачено після збирання пшениці озимої (попередника буряків) солому залишати в полі і для гумунізації вносити по 50 кг/га д.р. азотних добрив після чого заорювати, це є ефективним засобом підтримання бездефіцитного балансу гумусу й поживних елементів, додатковим джерелом органічних добрив. Збільшення вуглецю в ґрунті сприятиме підвищенню продуктивності буряків.

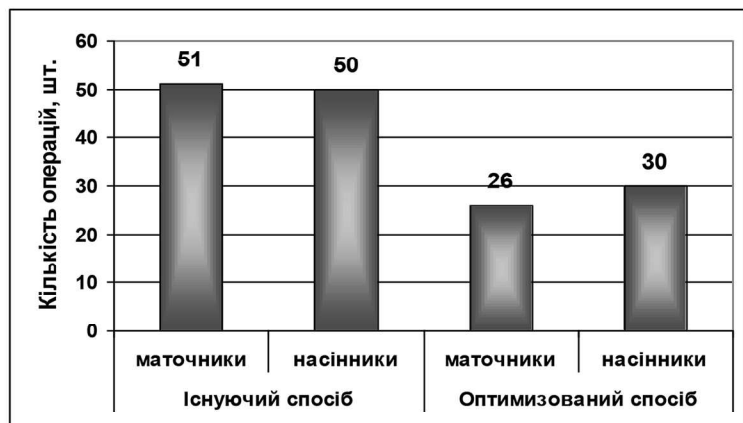


Рис. 1. Кількість технологічних операцій залежно від технології вирощування маточників і насінників

Джерело: розрахунок авторів.

Таблиця 1. Викиди діоксиду вуглецю (кг CO₂/га) в атмосферу за різних технологій вирощування маточних буряків і насінників

Етапи робіт	Існуюча технологія		Оптимізована технологія	
	маточники	насінники	маточники	насінники
Розділ 1	891,23	463,19	428,77	392,35
Розділ 2	462,48	92,56	314,26	327,06
Розділ 3	272,59	177,99	46,14	93,58
Розділ 4	190,89	195,39	63,23	78,38
Всього	1817,2	929,13	852,4	891,37
За технологіями	2746,33		1743,77	

Джерело: розрахунок авторів.

Оптимізація технологій вирощування маточних буряків і насінників, значне зменшення кількості елементів технології забезпечує зменшення діоксиду вуглецю в атмосферу. На думку Сабініч А. саме діяльність людей впливає на кількість CO₂ в атмосфері, що є небезпечним і якщо діоксиду вуглецю стане забагато (а його вже забагато), парниковий ефект посилиться і призведе до глобального потепління [14].

За оптимізованої технології вирощування маточників і насіння буряків цукрових викиди діоксиду вуглецю зменшилися в 1,6 разів, порівняно з існуючою (табл. 1).

Якщо за існуючої технології вирощування маточних буряків та насінників викиди в атмосферу діоксиду вуглецю становили 2746,33 кг CO₂/га то за оптимізованої технології вони були значно меншими і становили 1743,77 кг CO₂/га.

За обох технологій вирощування маточних буряків і насінників найбільше надходження

діоксиду вуглецю в атмосферу відбувається в першому розділі технологій "Основний обробіток ґрунту" та в другому "Передпосівний обробіток ґрунту і сівба (садіння)", що зумовлено як кількістю технологічних операцій, так і використання мінеральних добрив і, особливо азотних.

У першому розділі існуючої технології вирощування маточних буряків за внесення N₁₀₀P₉₅K₉₅ кг/га д.р. викиди діоксиду вуглецю становлять 741,61 кг CO₂/га, а за вирощування насіння при внесенні N155P125K100 кг/га д.р. — 344,28 кг CO₂/га, що становить, відповідно — 83,2 % та 74,3 % від загальних викидів по першому розділу. За оптимізованої технології викиди діоксиду вуглецю за внесення N60P60K50 кг/га д.р. при вирощуванні маточних буряків були 230,6 кг CO₂/га або 53,8 %, за внесення N60P60K50 кг/га д.р. насінників 230,63 кг CO₂/га або 58,8 % (табл. 2 та 3).

Таблиця 2. Викиди діоксиду вуглецю за вирощування маточних буряків цукрових, кг CO₂/га

Етапи робіт	Існуючий спосіб			Оптимізований спосіб		
	за виконання технологічних операцій	застосування добрив	застосування препаратів захисту рослин	за виконання технологічних операцій	застосування добрив	застосування препаратів захисту рослин
Розділ 1	149,62	741,61	0	198,14	230,63	0
Розділ 2	63,04	362,31	37,09	101,73	212,53	0
Розділ 3	79,19	184,93	8,41	37,36	0	8,78
Розділ 4	180,4	0	0	63,23	0	0
Всього	472,25	1288,9	45,5	400,46	443,16	8,78

Джерело: розрахунок авторів.

Таблиця 3. Викиди діоксиду вуглецю за вирощування насінників буряків цукрових, кг CO₂/га

Етапи робіт	Існуючий спосіб			Оптимізований спосіб		
	за виконання технологічних операцій	застосування добрив	застосування препаратів захисту рослин	за виконання технологічних операцій	застосування добрив	застосування препаратів захисту рослин
Розділ 1	118,91	344,28	0	161,72	230,63	0
Розділ 2	54,97	0	37,09	137,80	189,26	0
Розділ 3	177,99	0	0	84,8	0	8,78
Розділ 4	170,69	0	17,84	71,75	0	0
Всього	522,56	344,28	54,93	456,07	419,89	8,78

Джерело: розрахунок авторів.

Зменшення кількості мінеральних добрив компенсується використанням побічної продукції попередника з яким за урожайності зерна пшениці 5 т/га до ґрунту поступає $N_{44}P_{16}K_{73}$ кг/га д.р.

Оптимізація технологічних операцій також забезпечує зменшення викидів діоксиду вуглецю в атмосферу. Якщо, за існуючої технології вирощування маточних буряків при виконанні 51 технологічних операцій викиди діоксиду вуглецю становили 472,25 кг CO_2 /га, то за оптимізованої технології (26 технологічних операцій) — 400,46 кг CO_2 /га, що менше на 71,79 кг CO_2 /га або на 15,2 %.

Аналогічне зменшення викидів діоксиду вуглецю отримано за оптимізованої технології вирощування насінників буряків.

Практична цінність оптимізованої технології вирощування маточних буряків і насінників є в значному підвищенні економічної ефективності вирощування маточників і насіння за рахунок зменшення технологічних операцій та кількості мінеральних добрив, що забезпечить зниження собівартості продукції, стабільне вирощування насіння та його конкурентоспроможність. Технологія буде впроваджена в дослідних господарствах з вирощування насіння як вищих репродукцій, так і сертифікованого насіння буряків. Оптимізована технологія вирощування забезпечить з кожного гектару отримання маточних буряків для садіння чотирьох гектарів насінників, коефіцієнт розмноження 1: 4 (за існуючої технології цей коефіцієнт становить 1: 2). Кожний гектар насінників забезпечить урожайність високоякісного насіння не менше 2,5 т/га (середня урожайність за існуючої технології 1,5 т/га).

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Оптимізація технології вирощування маточних буряків і насінників є ефективним інструментом зниження антропогенного навантаження на агроєкосистеми та скорочення викидів парникових газів. Встановлено, що ключовими чинниками декарбонізації є зменшення кількості технологічних операцій, оптимізація норм внесення мінеральних добрив та впровадження енергоощадних технічних засобів.

Застосування оптимізованої технології забезпечує суттєве скорочення викидів діоксиду вуглецю, зниження витрат пального та матеріальних ресурсів, що позитивно впливає на екологічну ефективність виробництва насіння.

Використання побічної продукції як джерела органічної речовини сприяє підтриманню родючості ґрунтів і зменшенню залежності від мінеральних добрив.

Доведено, що оптимізована технологія дозволить не лише зменшити екологічні ризики, а й підвищити продуктивність та рентабельність виробництва насіння буряків цукрових. Це створює передумови для широкого впровадження технології у виробничу практику.

Перспективи подальших досліджень полягають у поглибленому аналізі вуглецевого балансу агроєкосистем, оцінці життєвого циклу продукції, а також розробці інтегрованих моделей управління агровиробництвом у контексті кліматичної нейтральності.

Література:

1. Можарівська І.А. Технологія вирощування малопоширених енергетичних культур для виробництва різних видів біопалива. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. Київ, 2013. Вип. 19. 85 с.
2. Роїк М.В. Перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Цукрові буряки. 2012. № 2. С. 6—8.
3. Гелетуша Г.Г., Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б. Перспективи виробництва та використання біогазу в Україні. Аналітична записка БАУ № 4. Київ: Біоенергетична асоціація України, 2013. 22 с.
4. Reducing Greenhouse Gas Emissions: A Comprehensive Guide to Climate Action. 10 November 2025. URL: <https://aands.international/reducing-greenhouse-gas-emissions-a-comprehensive-guide-to-climate-action/>
5. Filonchuk M., Peterson M.P., Yan H., Gusev A., Zhang L., He Y., Yang S. Greenhouse gas emissions and reduction strategies for the world's largest greenhouse gas emitters. *Science of The Total Environment*. 2024. Vol. 944. 173895.
6. What Is Global Warming? Causes, Effects & Solutions. 2025. URL: <https://www.mitsui.com/solution/en/contents/column/What-Is-Global-Warming>
7. Greenhouse Gases: Understanding Their Impact and Mitigation Strategies. 2025. URL: <https://sustainablecarbon.com/en/greenhouse-gases-understanding-their-impact-and-mitigation-strategies/>
8. Доронін В.А., Поліщук В.В., Доронін А.В., Кравченко Ю.А., Миколайко В.П., Кравченко В.С. Насінництво цукрових буряків. Умань: Видавничо-поліграфічний центр "Візаві", 2018. 380 с.
9. Ландін В.П., Мороз В.В., Захарчук В.А., Руденко О.М. Перспективи використання біо-

енергетичних культур в Україні. Науковий вісник НАТУ України. 2016. Вип. 26.5. С. 80—86.

10. Гнедіна К., Сорока А. Декарбонізація економіки як чинник забезпечення кліматично нейтрального майбутнього: сучасні виклики і перспективи в Україні та світі. Економіка та суспільство. 2023. № 54. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-76>

11. Макурін А., Макуріна О. Реалізація соціально-екологічної безпеки територіальних громад на основі декарбонізації об'єктів промисловості. Трансформаційна економіка. 2024. № 1 (06). С. 37—42. <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2024-6-7>

12. Максимова І. Еволюція міжнародних зусиль у формуванні кліматичного вектору світової економіки. Економіка та суспільство. 2024. № 64. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-64-109>

13. Звіт про виконану науково-технічну роботу: "Розрахунок утилізації CO₂ при вирощуванні зернових культур з використанням біорегуляторів росту рослин". URL: <https://www.agrobiotech.com.ua/ua/rozrahunok-sekvestratsiyi-so2-pid-chas-viroschuvannya-zernovih-kultur-za-vikoristannya-bioregulyatoriv-rosturoslin>

14. Сабініч А. Що не так з викидами CO₂? URL: <https://tokar.ua/read/27150/shcho-ne-tak-z-vykydamy-so2/>

References:

1. Mozharivska, I.A. (2013), *Tekhnolohiia vyroshchuvannya maloposhyrenykh enerhetychnykh kultur dlia vyrobnytstva riznykh vydiv biopalyva* [Technology of cultivation of underutilized energy crops for biofuel production], *Naukovi pratsi Instytutu bioenerhetychnykh kultur i tsukrovykh buriakiv*, Kyiv, Ukraine.

2. Roik, M.V. (2012), "Prospects for the development of bioenergy in Ukraine", *Tsukrovi buriaky*, vol. 2, pp. 6—8.

3. Heletukha, H.H., Kucheruk, P.P. and Matvieiev, Yu.B. (2013), *Perspektyvy vyrobnytstva ta vykorystannia biohazu v Ukraini* [Prospects for biogas production and use in Ukraine], *Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy*, Kyiv, Ukraine.

4. A&S International (2025), "Reducing Greenhouse Gas Emissions: A Comprehensive Guide to Climate Action", available at: <https://aands.international/reducing-greenhouse-gas-emissions-a-comprehensive-guide-to-climate-action/> (Accessed 6 April 2026).

5. Filonchuk, M., Peterson, M.P., Yan, H., Gusev, A., Zhang, L., He, Y. and Yang, S. (2024),

"Greenhouse gas emissions and reduction strategies for the world's largest greenhouse gas emitters", *Science of The Total Environment*, vol. 944.

6. Mitsui & Co. (2025), "What is global warming: causes, effects and solutions", available at: <https://www.mitsui.com/solution/en/contents/column/What-Is-Global-Warming> (Accessed 6 April 2026).

7. Sustainable Carbon (2025), "Greenhouse gases: understanding their impact and mitigation strategies", available at: <https://sustainable-carbon.com/en/greenhouse-gases-understanding-their-impact-and-mitigation-strategies/> (Accessed 6 April 2026).

8. Doronin, V.A., Polishchuk, V.V., Doronin, A.V., Kravchenko, Yu.A., Mykolaiko, V.P. and Kravchenko, V.S. (2018), *Nasynnytstvo tsukrovykh buriakiv* [Sugar beet seed production], *Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr "Vizavi"*, Uman, Ukraine.

9. Landin, V.P., Moroz, V.V., Zakharchuk, V.A. and Rudenko, O.M. (2016), "Prospects for the use of bioenergy crops in Ukraine", *Naukovi visnyk NLTU Ukrainy*, vol. 26.5, pp. 80—86.

10. Hnedina, K. and Soroka, A. (2023), "Decarbonization of the economy as a factor in ensuring a climate-neutral future: challenges and prospects in Ukraine and the world", *Ekonomika ta suspilstvo*, vol. 54, available at: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-54-76>

11. Makurin, A. and Makurina, O. (2024), "Implementation of socio-environmental security of territorial communities based on industrial decarbonization", *Transformatsiina ekonomika*, vol. 1 (06), pp. 37—42, available at: <https://doi.org/10.32782/2786-8141/2024-6-7>

12. Maksymova, I. (2024), "Evolution of international efforts in shaping the climate vector of the world economy", *Ekonomika ta suspilstvo*, vol. 64, available at: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-64-109>

13. Agrobiotech (2026), "Report on completed research work Calculation of CO₂ utilization during cereal cultivation using plant growth bioregulators", available at: <https://www.agrobiotech.com.ua/ua/rozrahunok-sekvestratsiyi-so2-pid-chas-viroschuvannya-zernovih-kultur-za-vikoristannya-bioregulyatoriv-rosturoslin> (Accessed 6 April 2026).

14. Sabinich, A. (2018), "What is wrong with CO₂ emissions?", available at: <https://tokar.ua/read/27150/shcho-ne-tak-z-vykydamy-so2/> (Accessed 6 April 2026).

Отримано редакцією журналу / Received: 06.04.26

Процеженовано / Revised: 14.04.26

Схвалено до друку / Accepted: 21.04.26