

УДК 633.63:631.531.027.2:631.811.98:551.583
DOI <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2026.35.44>

ПЕРЕДПОСІВНА ОБРОБКА НАСІННЯ БІОСТИМУЛЯТОРОМ ЯК ЕЛЕМЕНТ ПОКРАЩЕННЯ РОЗВИТКУ РОСЛИН БУРЯКА ЦУКРОВОГО В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

СОНЕЦЬ Т.Д. – старший науковий співробітник
orcid.org/0000-0002-9603-0452

Український інститут експертизи сортів рослин

МИХАЙЛИК С.М. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0001-9981-0545

Український інститут експертизи сортів рослин

КИЄНКО З.Б. – кандидат сільськогосподарських наук
orcid.org/0000-0001-7749-0296

Український інститут експертизи сортів рослин

ІЛЬЧЕНКО Я.В. – молодший науковий співробітник
orcid.org/0000-0002-9135-3842

Український інститут експертизи сортів рослин

ТКАЧУК С.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0001-8564-8452

Рівненська філія Українського інституту експертизи сортів рослин

Постановка проблеми. Сучасний напрям розвитку аграрного сектору України визначається глобальними викликами кліматичних змін та стратегічною необхідністю інтеграції у європейський економічний простір. Ключовим орієнтиром у цьому процесі виступає «Зелений курс» (The European Green Deal), проголошений Європейською Комісією у 2019 році, що для агровиробництва втілюється у жорсткі вимоги щодо декарбонізації, суттєвого зниження використання синтетичних добрив та пестицидів, а також зменшення вуглецевого сліду кінцевої продукції.

Особливої актуальності, в контексті інтенсифікації рослинництва, набуває концепція «Зеленого цифрового переходу» (Twin Transition) [1]. Відповідно до стратегічних прогнозів Європейської Комісії (2020–2022 рр.) та сучасних наукових підходів до спільної стратегії «подвійного переходу» [1], передбачається нерозривний зв'язок екологічних цілей та технологічних інновацій.

Буряк цукровий є однією з найбільш енергоємних культур, що потребує значних витрат ресурсів на ранніх етапах органогенезу. Особливої гостроти проблема набуває в умовах кліматичних змін, зокрема через нестабільне зволоження та весняні посухи, що спостерігалися, зокрема, у 2025 році.

Одним із перспективних напрямів розв'язання цієї проблеми є застосування багатофункціональних біостимуляторів для передпосівної обробки насіння. Це дозволяє не лише активувати життєві сили рослини на старті, а й оптимізувати емісійний профіль технології вирощування. В умовах реалізації стратегії «Зеленого цифрового переходу», важливим є не просто отримання максимального валового збору коренеплодів, а зниження вуглецевого сліду (carbon footprint) на одиницю отриманої продукції (цукру). Таким чином, дослідження впливу різних доз сучасних біостимуляторів на морфо-фізіологічні показники та агроекологічну

ефективність вирощування буряка цукрового є актуальним науково-практичним завданням.

Виходячи з цієї концепції, Український інститут експертизи сортів рослин (далі – УІЕСР) у 2025 році почав виконання науково-дослідної роботи агроекологічного напрямку за темою «Вплив біостимулятора на ріст і розвиток гібриду буряка цукрового» у тісній співпраці з Представництвом «Сесвандерхаве Інтернешнл Б.В.», яке надало насіння буряка цукрового гібриду СІУ оброблене біостимулятором Епівіо Енерджі компанії «Сингента».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Біостимулятори розглядаються як ефективний інструмент декарбонізації агровиробництва через механізм посилення секвестрації CO₂. Активізація ростових процесів коренеплодів дозволяє перетворити посіви буряка цукрового на активний «вуглецевий поглинач», що є важливим для реалізації цілей «Зеленого цифрового переходу» та зниження загального емісійного профілю агроценозів.

Питання підвищення продуктивності буряка цукрового через стимуляцію ростових процесів та оптимізацію живлення залишається в центрі уваги провідних вітчизняних та закордонних вчених. Дослідження М. В. Роїка, О. І. Присяжнюка та науковців ІБКЦБ НААН підтверджують, що передпосівна підготовка насіння з додаванням стимуляторів є вагомим фактором стабілізації густоти насаджень, одержання високих врожаїв коренеплодів та підвищення цукристості у мінливих кліматичних умовах [2, 3, 4].

Сучасні світові дослідження дедалі більше фокусуються на використанні природних компонентів для стимуляції рослин. Зокрема, W. Khan [5] та J. S. Craigie [6] довели, що екстракти морських водоростей активують гени, відповідальні за морфологію кореневої системи та ефективне поглинання азоту. Паралельно з цим, P. Du Jardin [7] та Calvo [8] розглядають амінокислоти як ключові осмопротектори, що дозволяють рослинам адаптуватися



до абіотичних стресів, таких як посуха та низькі температури на початкових етапах вегетації.

Класична наукова концепція, представлена у роботах А. Р. Draycott [9], вказує на наявність стійкої обернено-пропорційної кореляції між урожайністю та цукристістю, що пояснюється ефектом «фізіологічного розбавлення» сахарози при інтенсивному рості коренеплоду. Проте інноваційні технологічні рішення, зокрема лінійка препаратів EpiVio™ від компанії Syngenta, демонструють потенціал подолання цього бар'єру [10].

Окремий пласт сучасних досліджень присвячений розрахунку емісійних профілів агротехнологій. За даними експертів IPCC [11] та фундаментальними розрахунками R. Lal [12], лівова частка викидів еквівалентного CO₂ у рослинництві припадає на спалювання дизельного пального та синтез азотних добрив.

Водночас концепція підвищення ефективності трансформації вуглецю (Carbon Use Efficiency), яку розвивають Y. Rouphael та G. Colla [13], вказує на те, що біостимулятори можуть нівелювати екологічне навантаження шляхом оптимізації фотосинтезу та метаболізму. Втім, питання того, як саме цей механізм реалізується у розрізі ботанічних таксонів сільськогосподарських культур та специфічних ґрунтово-кліматичних умов зони Полісся України, залишається недостатньо висвітленим у науковій літературі. Пошук екологоорієнтованих підходів для створення сталих екосистем створює необхідне підґрунтя для такого аналізу [14], проте потребує деталізації в контексті застосування сучасних біостимулюючих препаратів.

В Україні теоретичні та прикладні засади екологічної трансформації аграрного сектору знаходяться в центрі уваги наукової спільноти. Зокрема, у працях О. Ходаківської та Ю. Лупенка обґрунтовано перспективи впровадження «зеленої» економіки в агросекторі на наступне десятиліття [15]. Автори наголошують, що стратегічний курс на екологічність та відповідність вимогам European Green Deal є ключовим чинником підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції на європейському ринку [16, 17].

Українські дослідники підкреслюють, що інтеграція еколого-економічних індикаторів збалансованого землекористування дозволяє реалізувати потенціал «зеленого зростання» на рівні конкретного господарства [18]. Важливим аспектом такої трансформації є формування методологічних основ вуглецевого ринку в агросфері [19], що в поєднанні з аналізом можливостей та наслідків для бізнесу [20] забезпечує сталий розвиток галузі в умовах кліматичних змін та сучасних технологічних викликів [21].

Мета статті. Обґрунтувати агроєкологічну ефективність застосування різних доз біостимулятора EpiVio Енерджі за вирощування гібриду буряка цукрового CIY та оцінити його вплив на оптимізацію емісійного профілю культури в умовах «Зеленого цифрового переходу».

Матеріали та методика досліджень. Об'єктом досліджень обрано гібрид буряка цукрового CIY (селекція компанії SESVANDERHAVE, Бельгія), який є універсальним класичним гібридом з високим потенціалом урожайності та внесений у 2020 році до Державного реєстру

сортів, придатних для поширення в Україні. Гібрид належить до NZ-типу, що забезпечує оптимальний баланс між масою коренеплоду та вмістом цукру. Має високу стійкість до ризоманії. Відрізняється швидким змиканням листків у міжряддях та рівномірним розвитком рослин. Маловибагливий до умов вирощування. Має низьку схильність до цвітушності. Придатний для механізованого збирання завдяки рівномірному заглибленню коренеплодів у ґрунт. Демонструє стабільно високі врожаї буряків та вихід цукру за різних кліматичних умов.

Для передпосівної обробки насіння використовували біостимулятор EpiVio Енерджі від компанії Syngenta – інноваційний препарат, що базується на природних екстрактах. Органічна фракція (близько 58 %), отримана з екстракту морських водоростей та продукту переробки меляси. Містить мікроелементи, брасиностероїди, вітаміни групи В та амінокислоти. У сільському господарстві його позиціонують як препарат, що активізує життєві сили рослини на ранніх етапах розвитку, стимулює енергію проростання, покращує однорідність сходів та розвиток потужної кореневої системи, активує корисну мікрофлору в зоні коріння, що сприяє кращому засвоєнню поживних речовин, зокрема азоту із ґрунту. Застосування препарату підвищує адаптивність рослин до абіотичних стресів: посухи, низьких температур ґрунту та дефіциту поживних речовин на початкових етапах органогенезу.

Досліди закладені та проведені відповідно до Методики проведення експертизи сортів рослин на придатність до поширення в Україні (загальна частина) [22] та Методики проведення експертизи сортів рослин групи технічних та кормових на придатність до поширення в Україні [23].

Агроєкологічну науково-дослідну роботу проведено впродовж 2025 року у Рівненській філії УІЕСР. Ґрунтова відміна: наміті опідзолені і дерново-підзолисті неоглеєні і глеюваті ґрунти легкосуглинкові. Попередник у досліді буряка цукрового – соя культурна.

Польовий дослід було закладено у чотирьох варіантах за чотирикратної повторності. Схема досліді передбачала вивчення впливу різних доз біостимулятора на фоні стандартного захисту насіння. Варіанти досліді: Варіант 1 контроль (контроль дражоване насіння гібриду CIY, обробка фунгіцидно-інсектицидною групою); Варіант 2 (дражоване насіння гібриду CIY + біостимулятор 5 мл/п.о); Варіант 3 (дражоване насіння гібриду CIY + біостимулятор 10 мл/п.о); Варіант 4 (дражоване насіння гібриду CIY + біостимулятор 15 мл/п.о.).

Під час виконання роботи використовувався комплекс методів: польовий, візуально-морфологічний, порівняльно-описовий, вимірювально-ваговий та методи системного аналізу.

Результати досліджень. Кліматичні умови вегетаційного періоду 2025 року характеризувалися як задовільні, проте з вираженою нестабільністю зволоження, що є типовим для зони Полісся останніх років.

Особливістю весни 2025 року став дефіцит опадів у період «сівба – повні сходи». Посів був проведений 4 квітня у достатньо зволожений ґрунт, проте подальша відсутність продуктивних опадів та підвищення

середньодобових температур призвели до формування певного гідротермічного стресу. У всіх варіантах досліду перші сходи з'явилися одночасно – 21 квітня.

Застосування біостимулятора Епівіо Енерджі дозволило рослинам ефективніше подолати стартовий стрес. Аналіз дат настання фаз розвитку свідчить, що підвищені дози препарату (10 та 15 мл/п.о.) сприяли прискоренню початкового органогенезу. Зокрема, у Варіанті 4 (15 мл/п.о.) повні сходи зафіксовано на 3 дні раніше, ніж у контролі (25,04 проти 28,04), а фаза «вилочки» настала на 5 днів швидше (табл. 1).

Це забезпечило посівам кращу конкурентну перевагу над бур'янами та дозволило ефективніше використати залишкову весняну вологу. Загальна тривалість вегетації у Варіанті 4 зросла до 172 діб, що на 3 доби більше за контроль, створюючи передумови для довшого періоду накопичення цукру.

Результати обліку врожаю демонструють пряму кореляцію між дозою біостимулятора та продуктивністю (табл. 2).

Варіант 2 (5 мл/п.о) забезпечив приріст урожаю на +5,7 т/га (або 6,1 %) порівняно з контролем. Варіант 3 (10 мл/п.о) дав значний стрибок урожайності – приріст +14,4 т/га (або 15,3 %). Варіант 4 (15 мл/п.о) показав максимальний результат – 110,5 т/га. Приріст склав +16,5 т/га (або 17,6 %) до контролю.

Динаміка накопичення цукру виявилася нелінійною. У варіантах 2 (5 мл/п.о) та 3 (10 мл/п.о) спостерігається незначне зниження цукристості, на 0,4 % та 0,6 % відповідно, порівняно з контролем. Варіант 4 (15 мл/п.о.) показав найкращий результат – 20,4 %, що на +0,5 % вище контролю.

Існує така наукова думка, що кореляція між врожайністю та цукристістю буряка цукрового зазвичай обернено-пропорційна, тобто чим вища врожайність, тим нижчою може бути цукристість і навпаки. Наші дослідження показали, що на вміст цукру у коренеплодах впливає не тільки інтенсивність росту коренеплоду та листової маси, а й передпосівна обробка біостимулятором.

Варіанти з дозами 5 мл/п.о. (19,5 % цукристості) та 10 мл/п.о. (19,3 % цукристості) мали зниження цукристості порівняно з контролем (19,9 % цукристості), тоді як варіант з дозою біостимулятора 15 мл/п.о. показав найкращий результат – 20,4 % (на +0,5 % вище контролю).

Основною оцінкою для буряка цукрового є головний економічний показник – збір цукру. Оскільки збір цукру є похідною від урожайності та цукристості, результати дослідження виглядають наступним чином. У Варіанті 2 (5 мл/п.о) отримано збір цукру 19,4 т/га, що на 0,7 т/га більше від контролю. У Варіанті 3 (10 мл/п.о) незважаючи на падіння відсотка цукристості, за рахунок урожайності коренеплодів збір цукру зріс на 2,2 т/га у порівнянні з контролем. У Варіанті 4 (15 мл/п.о) завдяки високій врожайності та підвищеній цукристості отримано максимальний приріст збору цукру – +3,8 т/га (+20,3 %) більше за контроль.

У процесі проведення досліджень ми звернули увагу щодо впливу біостимулятора на заглиблення коренеплодів у ґрунт. Наші дані показали, що зі збільшенням дози біостимулятора до 15 мл/п.о. відсоток повністю занурених у ґрунт коренеплодів знижується до 24,3 %, проти 29,8 % у контролі. Це може полегшити процес механізованого збирання та зменшити втрати тієї частини коренеплоду в якій накопичується цукор.

Таблиця 1.

Фази розвитку рослин буряка цукрового в датах за варіантами та тривалість періоду вегетації

Варіант досліду	Сівба	Сходи		Фаза вилочки	1-а пара справжніх листків	2-а пара справжніх листків	3-а пара справжніх листків	Збирання коренеплодів	Тривалість періоду вегетації, діб
		початок	повні (75 %)						
Варіант 1 (контроль)	04,04	21,04	28,04	03,05	07,05	14,05	23,05	14,10	169
Варіант 2 (СІУ + Епівіо Енерджі 5 мл/п.о)	04,04	21,04	28,04	03,05	07,05	14,05	22,05	14,10	169
Варіант 3 (СІУ + Епівіо Енерджі 10 мл/п.о)	04,04	21,04	27,04	30,04	06,05	12,05	20,05	14,10	170
Варіант 4 (СІУ + Епівіо Енерджі 15 мл/п.о)	04,04	21,04	25,04	28,04	05,05	12,05	20,05	14,10	172

Таблиця 2.

Продуктивність та якість врожаю за варіантами

Варіант	Урожайність коренеплодів, т/га	Цукристість, %	Збір цукру, т/га	Повністю заглиблених коренеплодів у ґрунт, %
Варіант 1 (контроль)	94,0	19,9	18,7	29,8
Варіант 2 (СІУ + Епівіо Енерджі 5 мл/п.о)	99,7	19,5	19,4	30,1
Варіант 3 (СІУ + Епівіо Енерджі 10 мл/п.о)	108,4	19,3	20,9	28,2
Варіант 4 (СІУ + Епівіо Енерджі 15 мл/п.о)	110,5	20,4	22,5	24,3

Для умов Рівненської області на дерново-підзолистих ґрунтах найбільш ефективним та рекомендованим є варіант передпосівної обробки насіння гібриду СІУ біостимулятором Епівіо Енерджі у дозі 15 мл/п.о., що забезпечує максимальний комплексний ефект за врожайністю, цукристістю та збором цукру (табл. 3).

Такий ефект Варіанту 4 можна пояснити концепцією «зеленого переходу»: біостимулятор у дозі 15 мл/п.о. максимально активував ферментативну систему рослин, що дозволило їм ефективніше поглинати вуглець (CO₂) та трансформувати його в енергію росту навіть за несприятливих умов 2025 року (посуха у період псів – повна схожість).

Оскільки технологією вирощування буряка цукрового передбачено обробку насіння біостимулятором, додатково проведено розрахунок емісійного профілю культури з метою визначення вуглецевого сліду на одиницю продукції (табл. 4).

Аналіз емісійного профілю технології вирощування буряка цукрового з використанням біостимулятора Епівіо Енерджі дозволив встановити загальний обсяг викидів парникових газів на рівні 414,892 кг CO₂е/га.

У структурі вуглецевого сліду домінуючу роль відіграє споживання палива та мінеральних добрив. На дизельне пальне припадає 256,476 кг CO₂е/га, що становить 61,8 % від загальних викидів. Внесення нітроамофоски (15:15:15) у кількості 70,5 кг д.р./га забезпечує емісію на рівні 103,635 кг CO₂е/га, що становить 25,0% у загальній структурі. Сумарна частка гербіцидів, фунгіцидів та інсектицидів складає 13,2 % (54,781 кг CO₂е/га). Серед них найбільший вплив має гербіцид Дуал Голд 960 ЕС – 29,376 кг CO₂е/га.

Зіставлення емісійних даних із показниками врожайності дозволяє оцінити екологічну доцільність технології вирощування. При врожайності у контрольному варіанті 94,0 т/га питома емісія парникових газів становить 4,41 кг CO₂е на 1 тону коренеплодів. Застосування біостимулятора у дозі 15 мл/п.о. де врожайність зростає до 110,5 т/га, дозволяє знизити вуглецевий слід до 3,75 кг CO₂е /т продукції.

Таким чином, використання біостимулятора забезпечує не лише приріст урожайності на 17,6 %, а й сприяє зменшенню питомих викидів парникових газів на 15% у розрахунку на одиницю отриманої продукції.

Важливим аспектом дослідження є зіставлення екологічного навантаження з продуктивністю культури. При врожайності у контрольному варіанті 94,0 т/га питома емісія становить 4,41 кг CO₂е на 1 тону коренеплодів. Застосування максимальної дози біостимулятора (15 мл/п.о.) збільшує врожайність до 110,5 т/га. Оскільки передпосівна обробка насіння біостимулятором практично не змінює загальний обсяг викидів на гектар, питома емісія у цьому варіанті знижується до 3,75 кг CO₂е/т продукції.

При максимальному зборі цукру 22,5 т/га (варіант 4) вуглецевий слід на виробництво 1 тону цукру становить лише 18,4 кг CO₂е.

Таким чином, застосування біостимулятора Епівіо Енерджі є агроекологічно виправданим заходом, який дозволяє підвищити продуктивність посівів при одночасному зниженні енергоємності та обсягу викидів парникових газів на одиницю отриманого цукру.

Зіставлення агрономічних показників із розрахунком емісійного профілю дозволяє зробити висновок про економічну та еко-енергетичну ефективність застосування біостимулятора.

Таблиця 3.

Господарська та технологічна ефективність застосування препарату Епівіо Енерджі

Показник	Контроль	Епівіо Енерджі 5 мл	Епівіо Енерджі 10 мл	Епівіо Енерджі 15 мл	Відхилення (max)
Урожайність, т/га	94,0	99,7	108,4	110,5	+16,5
Цукристість, %	19,9	19,5	19,3	20,4	+0,5
Збір цукру, т/га	18,7	19,4	20,9	22,5	+3,8
Заглиблення, %	29,8	30,1	28,2	24,3	-5,5

Таблиця 4.

Розрахунок емісійного профілю вирощування буряка цукрового з використанням біостимулятора Епівіо Енерджі

Категорія витрат	Норма витрат, л або кг/га	Коефіцієнт викидів (EF), кг CO ₂ е на одиницю	Сумарні викиди, кг CO ₂ е/га
1. Паливо: дизельне пальне	95,7	2,68	256,476
2. Добрива (ДР)*: нітроамофоска (15:15:15)	70,5	1,47	103,635
3. Засоби захисту рослин (ДР)*			
Гербіциди: Дуал Голд 960 ЕС	1,7	17,28	29,376
Бетанал Експерт	1,0	4,93	4,930
Фунгіциди: Спрінтер 500 КЕ	1,8	9,00	16,200
Інсектициди: Престо, КС	0,9	4,75	4,275
Разом			414,892

(ДР)* – дані вказані у діючій речовині.

Таблиця 5.

Порівняльна характеристика врожайності та показників емісії CO₂ при застосуванні біостимулятора

Показник екологічної ефективності	Варіант 1 (контроль)	Варіант 4 (15 мл/п.о.)	Ефект інтенсифікації, %
Врожайність коренеплодів, т/га	94,0	110,5	+17,6
Питома емісія на 1 тону буряка, кг CO ₂ е/т	4,41	3,75	-15,0
Питома емісія на 1 тону цукру, кг CO ₂ е/т	22,19	18,44	-16,9

У контролі, за врожайності 94,0 т/га та цукристості 19,9 % збір цукру становить 18,7 т/га. Варіант 4 (15 мл/п.о.) забезпечив максимальний збір цукру – 22,5 т/га. Додатково отримані 3,8 т/га цукру при сталих витратах свідчать про окупність витрат на біостимулятор.

Застосування біостимулятора дозволяє оптимізувати питому викиди на одиницю готової продукції. Оскільки загальні викиди на 1 га залишаються незмінними (414,892 кг CO₂е), збільшення врожайності веде до зниження екологічного навантаження на одиницю товару (табл. 5).

Зменшення відсотка повністю заглиблених коренеплодів у варіанті 4 до 24,3 % проти 29,8 % у контролі має не лише технічне, а й екологічне значення. Легше витягування коренеплодів потенційно знижує опір ґрунту під час роботи збиральної техніки, що сприяє додатковій економії дизельного пального, яке наразі займає досить велику частку в емісійному профілі (61,8 % від загальних викидів). Використання біостимулятора Епівіо Енерджі у дозі 15 мл/п.о. є стратегічно вигідним: воно забезпечує максимальний приріст чистого цукру – 3,8 т/га при одночасному зниженні вуглецевого сліду кінцевої продукції на 16,9 %. Це дозволяє позиціонувати дану технологію як таку, що відповідає принципам "зеленого" курсу та сталого розвитку агропромисловості.

Висновки. Встановлено, що в умовах нестабільного зволоження та весняної посухи 2025 року передпосівна обробка насіння біостимулятором Епівіо Енерджі сприяла нівелюванню гідротермічного стресу на ранніх етапах органогенезу. Застосування препарату в дозі 15 мл/п.о. дозволило прискорити появу повних сходів на 3 доби та настання фази «вилочки» на 5 діб порівняно з контролем, що забезпечило ефективніше використання весняних запасів вологи та подовжило період активного накопичення цукрів.

Експериментально доведено кореляцію між дозою біостимулятора та продуктивністю гібриду СІУ. Максимальну врожайність (110,5 т/га, що на 17,6 % вище контролю) та найвищий вміст цукру (20,4 %) отримано за норми 15 мл/п.о. Це дозволило подолати традиційний бар'єр оберненої залежності між продуктивністю та якістю, забезпечивши збір цукру на рівні 22,5 т/га або +20,3 % до контролю. Також зафіксовано покращення архітекtonіки коренеплодів (зменшення заглиблення до 24,3 %), що підвищує якість механізованого збирання.

Встановлено, що загальні викиди парникових газів при вирощуванні буряка цукрового становлять 414,892 кг CO₂е/га, де домінуючу частку займає дизельне паливо (61,8 %) та мінеральні добрива (25,0 %). Застосування біостимулятора дозволяє реалізувати концепцію «Зеленого цифрового переходу»

через механізм інтенсифікації: при сталих витратах ресурсів на одиницю площі питома емісія на одну тону коренеплодів знижується на 15%, а на одну тону чистого цукру – на 16,9 % (з 22,19 кг CO₂е/т до 18,44 кг CO₂е/т).

Використання біостимулятора Епівіо Енерджі у дозі 15 мл/п.о. є агроекологічно обґрунтованим заходом, який дозволяє перетворити посіви буряка цукрового на активний «вуглецевий поглинач». Це забезпечує відповідність вітчизняного агропромисловості вимогам європейського «Зеленого курсу» (The European Green Deal) щодо декарбонізації та сталого розвитку, підвищуючи конкурентоспроможність продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Mazzucato M., Mc Pherson M. The Green New Deal: A bold mission-oriented approach. *UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Policy Brief series (IIPP PB 04)*. 2019. URL: https://www.ucl.ac.uk/bartlett/sites/bartlett/files/iipp-pb-04-the-green-new-deal-17-12-2018_0.pdf (дата звернення: 02.03.2026).
- Буряки цукрові – селекція, насінництво та технологія вирощування : монографія / О. І. Присяжнюк та ін. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2022. 310 с.
- Сторожик Л. І., Грищенко О. М. Посівні якості одно-росткового насіння цукрових буряків, обробленого захисно-стимулюючими речовинами. *Зб. наук. праць ІЦБ УААН*. Київ, 2010. Вип. 11. С. 338–342.
- Ефективність використання для сівиби стимульованого дражованого насіння буряків цукрових / Я. В. Белік та ін. *Агробіологія*. 2016. № 1. С. 53–57. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/2533> (дата звернення: 02.03.2026).
- Seaweed Extracts as Biostimulants of Plant Growth and Development / W. Khan et al. *J Plant Growth Regul.* 2009. Vol. 28. P. 386–399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>.
- Craigie J. S. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *J. Appl. Phycol.* 2011. Vol. 23. P. 371–393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>.
- du Jardin P. Plants Biostimulants: Definition, Concept, Main Categories and Regulations. *Scientia Horticulturae*. 2015. Vol. 196. P. 3–14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
- Agricultural uses of plant biostimulants / P. Calvo et al. *Plant Soil*. 2014. Vol. 383. P. 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>.
- Sugar Beet / ed. by A. P. Draycott. Oxford : Blackwell Publishing, 2006. 474 p. <https://doi.org/10.1017/S0014479706334539>.
- Syngenta. Epivio™ Energy: Innovation in Seedcare. Technical Report. 2021. URL: https://www.syngentabiologicals.com/media/filer_public/03/

- c5/03c56927-c1a0-4b0e-83e6-d761c743f041/epivio_energy_and_regenerative_agriculture.pdf (дата звернення: 02.03.2026).
11. IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Summary for Policymakers. 2022. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf (дата звернення: 02.03.2026).
 12. Lal R. Carbon emission from farm operations. *Environment International*. 2004. Vol. 30 (7). P. 981–990. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>.
 13. Rouphael Y., Colla G. Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.
 14. Екологоорієнтовані підходи відновлення техногенно забруднених територій і створення сталих екосистем : колективна монографія / за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Видавництво ПП «Астрая», 2022. 452 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/360033466_Ekologoorientovani_pidhodi_vidnovlenna_tehnogенно_zabrudnenih_teritorij_i_stvorennia_stalih_ekosistem (дата звернення: 18.02.2026).
 15. Khodakivska O., Martyniuk M., Lupenko Yu. Prospective analysis of the implementation of the “green” economy in the agricultural sector of Ukraine for the next 10 years. *Scientific Horizons*. 2023. Vol. 26 (10). P. 163–179. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2023.163>.
 16. Зелена угода Європи, або основи Green Deal: що принесе агросектору України курс на екологічність. URL: <https://agropolit.com/spetsproekty/825-zelena-ugodayevropi-abo-osnovi-green-deal-scho-prinese-agrosetektoruukrayini-kurs-na-ekologichnist> (дата звернення: 18.02.2026).
 17. Федорчук Н. Європейський «Зелений курс» та аграрний сектор України: очікування та виклики. *Держава та регіони. Серія: Економіка та підприємництво*. 2021. № 3 (120). С. 27–31. <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2021-3-4>.
 18. Бутрим О. В., Заруба Д. В. Еколого-економічні індикатори збалансованого використання агроугідь з урахуванням вимог зеленого зростання. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". Серія: "Економічні науки"*. 2024. № 2. <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-2-9655>.
 19. Бутрим О. В. Тетраетико-методологічні основи формування внутрішнього вуглецевого ринку в контексті збалансованого розвитку агросфери : монографія / за ред. О. І. Дребот. Київ : ТОВ «ДІА», 2018. 360 с.
 20. Кицюк І., Науменко Н., Присяжнюк В. Європейський зелений курс: можливості та наслідки для українського бізнесу. *Економіка та суспільство*. 2023. № 56. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-56-87>.
 21. Перспективи розвитку аграрного сектора України в умовах кліматичних змін : аналіт. доп. / В. М. Русан та ін. ; за наук. ред. Я. А. Жаліла. Київ : НІСД, 2024. 47 с. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.09>.
 22. Методика проведення кваліфікаційної експертизи сортів рослин на придатність для поширення в Україні (загальна частина). URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/metodZagChapter.pdf> (дата звернення: 18.02.2026).
 23. Методика проведення експертизи сортів рослин групи технічних та кормових на придатність для поширення в Україні (ПСП) / за ред. С. О. Ткачик. 3-тє вид., випр. і доп. Вінниця : ФОРМ Корзун Д. Ю., 2016. 74 с. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5b7e6970317ba.pdf> (дата звернення: 18.02.2026)

REFERENCES:

1. Mazzucato, M., & McPherson, M. (2019). *The Green New Deal: A bold mission-oriented approach* (Policy Brief IIPP PB 04). UCL Institute for Innovation and Public Purpose. URL: https://www.ucl.ac.uk/bartlett/sites/bartlett/files/iipp-pb-04-the-green-new-deal-17-12-2018_0.pdf
2. Prysyzhnyuk, O.I., Prysyzhnyuk, L.M., Melnyk, S.I., & Hryniv, S.M. (2022). *Buriaky tsukrovyy – selektsiia, nasynnytstvo ta tekhnolohiia vyroshchuvannia [Sugar beet – breeding, seed production and cultivation technology]*. Vinnytsia: TVORY, 310 [in Ukrainian].
3. Storozhyk, L.I., & Hryshchenko, O.M. (2010). Posivni iakosti odnorostkovoho nasinnia tsukrovyykh buriakiv, obroblenoho zakhysno-stymuliuichymy rehovynamy [Sowing qualities of monogerm sugar beet seeds treated with protective and stimulating substances]. *Zbirnyk naukovykh prats ITsB UAAN*, 11, 338–342 [in Ukrainian].
4. Belik, Ya.V., Balaniuk, L.O., Morhun, V.I. & Karpuk, L.M. (2016). Efektyvnist vykorystannia dlia sivby stymulovanoho drzhovanoho nasinnia buriakiv tsukrovyykh [Efficiency of using stimulated pelleted sugar beet seeds for sowing]. *Ahrobiolohiia*, 1, 53–57. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/2533> [in Ukrainian].
5. Khan, W., et al. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28, 386–399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
6. Craigie, J.S. (2011). Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*, 23, 371–393. <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9560-4>
7. du Jardin, P. (2015). Plants Biostimulants: Definition, concept, main categories and regulations. *Scientia Horticulturae*, 196, 3–14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
8. Calvo, P., Nelson, L. & Kloepper, J.W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383, 3–41. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2131-8>
9. Draycott, A.P. (Ed.). (2006). *Sugar Beet*. Blackwell Publishing. <https://doi.org/10.1017/S0014479706334539>
10. Syngenta. (2021). *Epivio™ Energy: Innovation in Seedcare*. Technical Report. URL: https://www.syngentabiologicals.com/media/filer_public/03/c5/03c56927-c1a0-4b0e-83e6-d761c743f041/epivio_energy_and_regenerative_agriculture.pdf
11. IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Summary for Policymakers. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_SummaryForPolicymakers.pdf
12. Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30(7), 981–990. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>
13. Rouphael, Y. & Colla, G. (2020). Biostimulants in Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>
14. Chaika, T.O. (Ed.). (2022). *Ekolohoorientovani pidkhody vidnovlennia tekhnogenno zabrudnenykh terytorii i stvorennia stalnykh ekosystem [Ecologically oriented*

- approaches to restoration of anthropogenically polluted territories and creation of sustainable ecosystems]. Poltava: PP Astraia, 452. URL: <https://www.researchgate.net/publication/360033466> [in Ukrainian].
15. Khodakivska, O., Martyniuk, M. & Lupenko, Yu. (2023). Prospective analysis of the implementation of the "green" economy in the agricultural sector of Ukraine for the next 10 years. *Scientific Horizons*, 26(10), 163–179. <https://doi.org/10.48077/scihor10.2023.163>
 16. Agropolit. (2021). *Zelena uhoda Yevropy, abo osnovy Green Deal: shcho prynese ahrosektoru Ukrainy kurs na ekolohichnist [European Green Deal, or basics of Green Deal: what the course towards ecology will bring to the agricultural sector of Ukraine]*. URL: <https://agropolit.com/spetsproekty/825-zelena-ugodayevropi-abo-osnovi-green-deal-scho-prinese-agrosektoruukrayini-kurs-na-ekolohichnist> [in Ukrainian].
 17. Fedorchuk, N. (2021). Yevropeyskyi «Zelenyi kurs» ta ahraryni sektor Ukrainy: ochikuvannia ta vyklyky [The European Green Deal and the agricultural sector of Ukraine: expectations and challenges]. *Derzhava ta rehiony. Seriya: Ekonomika ta pidpriemnytstvo*, 3(120), 27–31. <https://doi.org/10.32840/1814-1161/2021-3-4> [in Ukrainian].
 18. Butrym, O.V. & Zaruba, D. V. (2024). Ekoloho-ekonomichni indykatory zbalansovanoho vykorystannia ahruid s urakhuvanniam vymoh zelenoho zrostantia [Ecological and economic indicators of balanced use of agricultural land taking into account the requirements of green growth]. *Internauka. Seriya: Ekonomichni nauky*, 2. <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-2-9655> [in Ukrainian].
 19. Butrym, O.V. (2018). *Teoretyko-metodolohichni osnovy formuvannia vnutrishnyoho vuhletsevoho rynku v konteksti zbalansovanoho rozvytku ahrosfery [Theoretical and methodological foundations of the formation of the internal carbon market in the context of balanced development of the agrosphere]*. Kyiv: TOV DIA, 360 [in Ukrainian].
 20. Kytsiuk, I., Naumenko, N. & Prysyzhnyuk, V. (2023). Yevropeyskyi zelenyi kurs: mozhyvosti ta naslydky dlia ukrainskoho biznesu [European green course: opportunities and consequences for Ukrainian business]. *Ekonomika ta suspilstvo*, 56. <https://doi.org/10.32822/2524-0072/2023-56-87> [in Ukrainian].
 21. Zhalilo, Ya. A. (Ed.). Rusan, V. M., Zhurakovska, L. A. & Zhalilo, Ya. A. (2024). *Perspektyvy rozvytku ahrarnoho sektora Ukrainy v umovakh klimatychnykh zmin [Prospects for the development of the agricultural sector of Ukraine in terms of climate change]*. Kyiv: NISD, 47. <https://doi.org/10.53679/NISS-analytrep.2024.09> [in Ukrainian].
 22. State Institute for Testing and Protection of Plant Varieties. (n.d.). *Metodyka provedennia kvalifikatsiinoi ekspertyzy sortiv roslyn na prydatnist dlia poshyrennia v Ukraini (zahalna chastyna) [Methodology of qualification examination of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine (general part)]*. Kyiv, 87. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/metodiki/metodZagChapter.pdf> [in Ukrainian].
 23. Tkachyk, S.O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv roslyn hrupy tekhnichnykh ta*

kormovykh na prydatnist dlia poshyrennia v Ukraini (PSP) [Methodology for the examination of plant varieties of the technical and fodder group for suitability for distribution in Ukraine]. Vinnystia: FOP Korzun D.Yu., 74. URL: <https://sops.gov.ua/uploads/page/5b7e6970317ba.pdf> [in Ukrainian].

Сонець Т.Д., Михайлик С.М., Києнко З.Б., Ільченко Я.В., Ткачук С.О. Передпосівна обробка насіння біостимулятором як елемент покращення розвитку рослин буряка цукрового в умовах глобальних кліматичних змін

Мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні агроєкологічної та економічної ефективності використання різних дозувань інноваційного препарату Епівіо Енерджі для стабілізації потенціалу продуктивності гібриду СІУ в умовах зростаючого гідротермічного стресу та реалізації стратегії «Зеленого цифрового переходу». **Методи** дослідження базувалися на проведенні польових експериментів у Рівненській філії УІЕСР впродовж 2025 року із застосуванням візуально-морфологічних спостережень та вимірювально-вагових аналізів. Системний підхід до розрахунку емісійного профілю технології здійснювали за методологією оцінки життєвого циклу продукції. **Результати** науково-дослідної роботи засвідчили, що в умовах дефіциту опадів у період «сівба – повні сходи» передпосівна підготовка насіння дозволяє рослинам значно ефективніше використовувати ґрунтову вологу та активувати життєву енергію на початкових етапах вегетації. Встановлено, що при використанні максимальної норми 15 мл/п.о. повні сходи з'являються на 3 доби раніше, ніж у контрольному варіанті, а тривалість активного періоду накопичення вегетативної маси зростає на 3 доби. Експериментально підтверджено, що інтенсифікація початкового органогенезу призводить до зростання господарських показників: урожайність коренеплодів у варіанті з максимальною дозою склала 110,5 т/га, що забезпечило приріст 17,6% відносно контролю. Особливої уваги заслуговує подолання традиційного фізіологічного бар'єру «врожайність – цукристість», оскільки за найвищої продуктивності вміст цукру також зріс до 20,4%, що є на 0,5% вище базового показника. Це дозволило отримати збір цукру на рівні 22,5 т/га. Розрахунок вуглецевого сліду показав, що при загальних викидах 414,9 кг CO₂e/га, де вагому частку займає паливо (61,8%), інтенсифікація технології дозволяє знизити питому емісію на одну тону цукру на 16,9% (з 22,19 до 18,44 кг CO₂e/т). Також, зафіксовано позитивний вплив на архітектуру коренеплодів: зменшення відсотка повністю заглиблених у ґрунт до 24,3% проти 29,8% у контролі, що мінімізує опір ґрунту за збирання та знижує витрати дизельного пального. **Висновки.** Застосування досліджуваного препарату у дозі 15 мл/п.о. є агроєкологічно виправданим та економічно ефективним заходом, який дозволяє оптимізувати емісійний профіль культури та забезпечує конкурентоспроможність агровиробництва в умовах декарбонізації економіки та вимог «Зеленого курсу» Європейського Союзу щодо зниження вуглецевого сліду продукції харчування.

Ключові слова: Епівіо Енерджі, вуглецевий слід, Зелений курс, емісія парникових газів, збір цукру, гібрид СІУ, декарбонізація агровиробництва.

Sonets T.D., Mykhailyk S.M., Kyenko Z.B., Ilchenko Ya.V., Tkachuk S.O. Pre-sowing seed treatment with a biostimulant as an element of improving the development of sugar beet plants under conditions of global climate change

The **purpose** of the study is to scientifically justify the agroecological and economic efficiency of using different dosages of the innovative biostimulant Epivio Energy to stabilize the productivity potential of the hybrid SIOUX under conditions of increasing hydrothermal stress and implementing the "Green Digital Transition" strategy". The research **methods** were based on conducting field experiments in the Rivne branch of the UIESR during 2025 with using of visual-morphological observations and measurement-weight analyses. A systematic approach to calculating the emission profile of the technology was carried out using the product life cycle assessment methodology. The **results** of scientific research have shown that in conditions of precipitation deficit in the period "sowing – full emergence" the seed treatment allows beet seedlings to use soil moisture much more efficiently and activate vital energy in the initial stages of vegetation. Experiments have shown that in variant with the usage of the maximum rate of biostimulant 15 ml/s.u. all seedlings appear 3 days earlier than in the control variant, and the duration of the active period of vegetative mass accumulation increases by 3 days. It has been experimentally confirmed that the intensification of initial organogenesis leads to a significant

increase in economic indicators: the yield of roots in the variant with the maximum dosage was 110,5 t/ha, which provided an increase of 17,6% compared to the control. Of particular note is the overcoming of the traditional physiological barrier "yield-sugar content", since at the highest productivity the sugar content also increased to 20,4%, which is 0,5% higher than the basic indicators. This allowed to obtain a sugar yield of 22,5 t/ha. The calculation of the carbon footprint showed that with total emissions of 414,9 kg CO₂e/ha, where a significant share is occupied by fuel (61,8%), the intensification of the technology allows to reduce the specific emission per ton of sugar by 16,9% (from 22,19 to 18,44 kg CO₂e/t). Also a positive effect on the architectonics of beet roots was recorded: a decrease in the percentage of roots completely buried in the soil to 24,3% versus 29,8% in the control, which minimizes soil resistance during harvesting and reduces diesel fuel consumption. Research **conclusions** confirm that the usage of the studied biostimulant at a dose of 15 ml/p.o. is an agroecologically justified and cost-effective measure that allows optimizing the emission profile of the crop and ensures the competitiveness of agricultural production in the context of decarbonization of the economy and the requirements of the European Union's "Green Deal" to reduce the carbon footprint of food products.

Key words: Epivio Energy, carbon footprint, Green Course, greenhouse gas emissions, sugar yield, hybrid SIOUX, decarbonization of agricultural production.

Дата першого надходження статті до видання: 27.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 06.05.2026