

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Зав. кафедрою екології

доц. _____ Вікторія КАЦЕВИЧ

« _____ » червня 2025р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»
на тему: **«Вплив застосування біостимуляторів на вуглецевий слід
при вирощуванні озимого жита в умовах селянського фермерського
господарства "Отаман" Пологівського району Запорізької області»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу,
групи Е-1-21 спеціальності 101 «Екологія»

_____ Кіріл КОРОЛІХІН

Керівник _____ доц. Вікторія КАЦЕВИЧ

Дніпро 2025

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Водогосподарської інженерії та екології

Кафедра: Екології

Освітньо-професійна програма: «Екологія»

Спеціальність: 101 «Екологія»

Ступінь вищої освіти Бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою екології

доц. _____ Вікторія КАЦЕВИЧ

« _____ » _____ 202__ р.

З А В Д А Н Н Я

на підготовку кваліфікаційної роботи

Короліхіну Кірілу Костянтиновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вплив застосування біостимуляторів на вуглецевий слід при вирощуванні озимого жита в умовах селянського фермерського господарства "Отаман" Пологівського району Запорізької області

Науковий керівник: Кацевич В.В., к.с-г.н., доцент

затверджена наказом по ДДАЕУ від «16» квітня 2025 р. № 768

2. Термін подання здобувачем роботи: _____ р.

3. Вихідні дані до роботи: Дані фермерського господарства «Отаман», наукова література, статистичні звіти

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): ВСТУП. РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СФГ «ОТАМАН» РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДІЇ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням

обов'язкових креслень): 5 рисунків та 13 таблиць _____

6. Дата видачі завдання: «17» квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	квітень- травень	Виконано
2	ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СФГ «ОТАМАН»	квітень- травень	Виконано
3	МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	квітень- травень	Виконано
4	РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	квітень- травень	Виконано
	РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ	квітень- травень	Виконано
5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДІЇ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	червень	Виконано
6	ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	червень	Виконано

Здобувач (ка) _____

(підпис)

Кіріл КОРОЛІХІН

(Ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____

(підпис)

Вікторія КАЦЕВИЧ

(Ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота складається зі вступу, шести розділів основної частини, висновків і переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 82 сторінки друкованого тексту. У змісті подано 1 ілюстрація і 9 таблиць. Список використаної літератури включає 40 найменування.

Метою дипломної роботи є еколого-енергетична оцінка впливу застосування біостимуляторів на вуглецевий слід при вирощуванні озимого жита, розробка рекомендацій щодо екологічно безпечної інтенсифікації агровиробництва, а також обґрунтування практичного значення технологій біологічного землеробства для Південно-Східного регіону України.

Для досягнення мети були сформульовані такі завдання:

проаналізувати літературні джерела щодо біостимуляторів та вуглецевого сліду у сільському господарстві;

дати еколого-географічну характеристику СФГ «Отаман»;

описати методику агроекологічного досліджу;

здійснити розрахунок вуглецевого сліду для різних варіантів вирощування жита;

оцінити екологічну ефективність технології застосування біостимуляторів;

сформулювати рекомендації щодо впровадження екологічно обґрунтованих практик у польовому землеробстві.

Ключові слова: біостимулятори, озиме жито, вуглецевий слід, сільськогосподарське виробництво, агроекологія, адаптивне землеробство, кліматичні зміни, екологічна ефективність, скорочення викидів, мінеральні добрива, ресурсозбереження, сталий розвиток, декарбонізація аграрного сектору.

	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	10
1.1. Біологічні та екологічні особливості жита озимого	10
1.2. Біостимулятори: класифікація, принцип дії, екологічна безпе́чність	15
1.3 Екологі́чна безпе́чність біостимуляторів для біоти агро́оекосистем	18
1.4 Соціальні та нормативні аспекти застосування біостимуляторі	20
1.5. Теоретичні основи оцінки вуглецевого сліду в аграрному виробництві	26
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СФГ «ОТАМАН»	32
2.1. Природно-кліматичні та ґрунтові умови Полігівського району	32
2.2 Господарство "Отаран": структура, профіль, технології	36
2.3 Агро́оекологі́чна оці́нка землекористування	40
2.4 Спеціалізація та структура господарства	44
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	47
РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ	50
4.1 Джерела викидів CO ₂ при вирощуванні жита	50
4.2. Порівняння вуглецевого сліду в контрольних та дослідних варіантах	51
4.3. Розрахунок скорочення викидів завдяки біостимуляторам	59
4.5 Екологі́чна доцільність технології	64
РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ	66
5.1. Екологі́чно обґрунтовані технологі́чні рішення	66
5.2. Масштабування на інші господарства	68
5.3. Перспективи для національних програм скорочення викидів	70
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДІЇ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	73
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	77
ЛІТЕРАТУРА	79

ВСТУП

У сучасних умовах глобальних екологічних викликів, пов'язаних із зміною клімату, інтенсифікацією сільського господарства та деградацією земельних ресурсів, особливої актуальності набуває питання мінімізації антропогенного впливу на довкілля. Однією з ключових проблем, що розглядається в контексті сталого розвитку аграрного сектору, є скорочення викидів парникових газів, зокрема діоксиду вуглецю, які виникають у процесі вирощування сільськогосподарських культур. Ці викиди формують так званий «вуглецевий слід», який усе частіше застосовується як індикатор сталості виробничих систем [1].

В Україні значна частина території використовується під посіви зернових культур, які залишають помітний вуглецевий слід. У цьому контексті все більшого значення набувають альтернативні підходи до ведення рослинництва, які дозволяють не тільки підвищити продуктивність культур, а й зменшити негативний вплив на навколишнє природне середовище. Одним із таких підходів є застосування біостимуляторів росту рослин, які належать до екологічно безпечних агрономічних засобів [2].

Біостимулятори — це препарати біологічного або органо-мінерального походження, що стимулюють фізіолого-біохімічні процеси у рослинах, активізують ріст кореневої системи, підвищують імунітет, покращують адаптацію до стресових умов і сприяють кращому засвоєнню елементів живлення. Внаслідок цього зменшується потреба у традиційних мінеральних добривах і пестицидах, виробництво яких супроводжується значними викидами парникових газів [3, 4]. Таким чином, біостимулятори відіграють

важливу роль у реалізації екологічно спрямованих технологій сталого землеробства [5].

У сучасній практиці екологічного аналізу сільськогосподарського виробництва однією з основних задач є кількісна оцінка впливу агротехнологій на зміну парникового ефекту через визначення обсягу викидів вуглекислого газу, метану та закису азоту, що виникають внаслідок польових робіт, внесення добрив, обробітку ґрунту, використання техніки, а також під час постачання й утилізації агрохімікатів [6]. У цьому контексті особливу увагу заслуговує концепція вуглецевого сліду (carbon footprint) — кількісний показник, що виражає сумарну кількість викидів парникових газів у перерахунку на CO₂-еквівалент на одиницю продукції [7].

На тлі глобальних змін клімату особливої актуальності набуває впровадження технологій, що здатні знижувати вуглецевий слід без зменшення продуктивності агросистем. Застосування біостимуляторів у вирощуванні озимого жита розглядається як інноваційний елемент біологізованого землеробства, який дозволяє не лише підвищити врожайність культури, а й зменшити потребу в мінеральних добривах, покращити стан ґрунтів, активізувати мікробіологічну діяльність у ризосфері та, відповідно, зменшити загальні викиди CO₂-еквіваленту на одиницю продукції [8, 9].

Додаткову цінність використання біостимуляторів становить їхній мультифункціональний ефект, що проявляється у зменшенні втрат вологи, підвищенні фотосинтетичної активності, поліпшенні структури ґрунту за рахунок стимуляції біоти, а також у зменшенні кількості обробіток поля [10]. Усе це призводить до скорочення споживання енергоресурсів (паливо, електроенергія), що, у свою чергу, позитивно впливає на загальний баланс парникових викидів. Ураховуючи високий попит на екологічно сертифіковану аграрну продукцію, подібні рішення відкривають перспективи для інтеграції українських господарств у міжнародні екологічні програми, зокрема в систему carbon farming [10].

Обрана для дослідження культура — жито озиме — не випадкова. Це одна з найбільш адаптивних зернових культур, яка має високу морозостійкість, стійкість до кислотних ґрунтів, здатність до глибокого кушіння та низькі вимоги до ґрунтового родючості. Крім того, жито краще за інші зернові культури протидіє забур'яненості, має виражені алелопатичні властивості та здатність очищувати ґрунт від патогенів [2, 3]. Це робить його ідеальним об'єктом для дослідження у рамках екологічного землеробства, яке базується на мінімальному втручанні у природні процеси та відмові від агресивної хімізації [4].

Селянське фермерське господарство «Отаман», розташоване у Пологівському районі Запорізької області, вибрано як базу дослідження з огляду на його представницькі характеристики, зокрема: типовість кліматичних умов для зони Південного Степу України, наявність чорноземів із різним ступенем еродованості, спрямованість на вирощування зернових культур, а також попередній досвід застосування біостимуляторів у технологічних схемах [5].

Попередні дослідження, виконані в рамках дипломної роботи зі спеціальності «Агрономія», встановили, що використання біостимуляторів Текамін Макс та Текамін Універсал сприяло підвищенню урожайності жита на 7–13%, поліпшенню параметрів структури врожаю, збільшенню маси кореневої системи та надземної біомаси [6]. Це створює підґрунтя для подальшого екологічного аналізу, спрямованого на кількісну оцінку змін у вуглецевому балансі при впровадженні біостимуляторної технології.

Таким чином, актуальність теми обумовлена сукупністю наукових, прикладних та екологічних чинників. З одного боку, це необхідність впровадження технологій зі зниженим вуглецевим слідом, а з іншого — потреба у достовірному науковому обґрунтуванні ефективності біостимуляторів у контексті сталого землеробства. Водночас ця проблема має соціальне вимірювання — забезпечення продовольчої безпеки у поєднанні з охороною довкілля та адаптацією агросектору до кліматичних змін [7, 8].

Об'єктом дослідження дипломної роботи є екосистема агроценозу озимого жита у СФГ «Отаман», предметом — вплив застосування біостимуляторів на величину вуглецевого сліду. Методично дослідження ґрунтується на поєднанні агрономічного, екологічного й енергетичного аналізу. У роботі використано комплекс підходів: від традиційних методів аналізу продуктивності до розрахунку CO₂-еквіваленту на основі даних міжнародних протоколів (IPCC, GHG Protocol) [9, 120]. Оцінювання базується на реальних даних, отриманих під час попередніх польових дослідів.

Метою дипломної роботи є еколого-енергетична оцінка впливу застосування біостимуляторів на вуглецевий слід при вирощуванні озимого жита, розробка рекомендацій щодо екологічно безпечної інтенсифікації агровиробництва, а також обґрунтування практичного значення технологій біологічного землеробства для Південно-Східного регіону України.

Для досягнення мети були сформульовані такі завдання:

проаналізувати літературні джерела щодо біостимуляторів та вуглецевого сліду у сільському господарстві;

дати еколого-географічну характеристику СФГ «Отаман»;

описати методику агроекологічного дослідження;

здійснити розрахунок вуглецевого сліду для різних варіантів вирощування жита;

оцінити екологічну ефективність технології застосування біостимуляторів;

сформулювати рекомендації щодо впровадження екологічно обґрунтованих практик у польовому землеробстві.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Біологічні та екологічні особливості жита озимого

Жито озиме (*Secale cereale* L.) — одна з провідних зернових культур помірної зони, яка має давню історію вирощування та особливе значення в агроландшафтах Східної та Центральної Європи. На відміну від пшениці та ячменю, жито характеризується високою адаптивністю до екстремальних кліматичних умов, що зумовлює його перспективність у контексті зміни клімату та необхідності екологічної стабілізації агроєкосистем [1].

За історичними даними, культивування жита розпочалося ще в доантичний період. Перші згадки про цю культуру датуються I століттям н. е., зокрема в працях Плінія Старшого. В Україні жито почали активно вирощувати ще з XI століття, насамперед у регіонах з більш суворими кліматичними умовами, де інші зернові не демонстрували стабільної продуктивності [2].

З агробіологічної точки зору, жито озиме є високопластичною культурою, що дозволяє отримувати стабільні врожаї навіть у зонах недостатнього зволоження. Його біологічні особливості включають глибоку кореневу систему, підвищену морозо- та посухостійкість, скоростиглість, здатність до відновлення вегетації після стресових факторів, а також здатність до формування густих, добре куцених посівів [3]. Саме ці властивості є ключовими для забезпечення стійкості агроландшафтів до несприятливих умов довкілля.

Завдяки добре розвиненій кореневій системі та здатності до формування густої дернини, рослини ефективно використовують вологу осіннього та весняного періодів. Це дозволяє їм краще переносити тривалі посухи у літній період і випереджати у розвитку інші зернові культури. Крім того, завдяки короткому періоду яровизації, жито є менш вибагливим до строків сівби, а також менше уражується шкідниками та хворобами [5].

Зерно жита відзначається високими харчовими якостями: містить 8,0–18,7% білків, 70,0–80,0% вуглеводів, зокрема 51,8–69,0% крохмалю, вітаміни А, Е, РР, групи В, а також фітохімічні речовини (антоціани, флавоноїди, лігнани), які мають антиоксидантні властивості [6]. Завдяки вмісту розчинної клітковини та пентозанів, хліб із житнього борошна має високу харчову цінність і рекомендований для профілактичного харчування. Житнє зерно також використовується у виробництві спирту, крохмалю, солоду, а солома — для силосування, виготовлення паперу та біопалива [7].

З екологічної точки зору, жито має ряд переваг перед іншими зерновими культурами. Воно висуває менші вимоги до родючості ґрунтів і може вирощуватись без застосування агресивних агрохімікатів. Завдяки густому покриву посівів жито ефективно пригнічує бур'яни, зменшуючи потребу в гербіцидах, а також знижує ерозію ґрунту на схилах. У деяких дослідженнях відзначено здатність кореневої системи жита до фітосанації — зменшення чисельності ґрунтових патогенів, зокрема нематод і фузаріозних грибів [8].

Завдяки алелопатичним властивостям, жито широко застосовується як покривна культура або як сидерат. Його вирощування дозволяє знижувати залишкову кількість нітратів у ґрунті, сприяти утворенню гумусу та покращувати структуру орного шару [9]. Це особливо актуально в умовах деградації чорноземів та зростаючої потреби у збереженні ґрунтової родючості. Крім того, жито може бути корисним елементом сівозміни, оскільки залишає поле у сприятливому стані для наступних культур.

У дослідженнях, проведених у північному Лісостепу України, встановлено, що посіви жита демонструють стабільні врожаї навіть за умов

весняної або літньої посухи. У середньому за багаторічними даними врожайність сорту Діхар у посушливі роки перевищує пшеницю озиму на 10–15% [10]. Потенціал врожайності жита залежить не стільки від внесення добрив, скільки від вибору сорту, строків сівби, попередника та рівня агротехнічного догляду.

Наявність стійкості до бур'янів і шкідників, здатність пригнічувати ріст патогенних мікроорганізмів, а також знижене накопичення нітратів у зерні надають житу перевагу при переході до технологій органічного та екологічного землеробства [10]. Це особливо важливо у світлі вимог до сертифікації продукції та обмежень на застосування агрохімії в рамках міжнародних стандартів (IFOAM, ISO 14024, GlobalG.A.P.).

Таким чином, біологічні та екологічні особливості жита озимого забезпечують йому пріоритет у реалізації сталих та адаптивних агротехнологій, особливо в регіонах з підвищеною посушливістю, у тому числі на південному сході України. Ця культура є придатною для оцінки не лише в агрономічному, а й у еколого-енергетичному аспекті, оскільки здатна реалізовувати потенціал екологізації аграрного виробництва — як у натуральному, так і в енергетичному вираженні.

Однією з важливих характеристик жита як культури є його здатність до швидкого осіннього розвитку та формування потужної кореневої системи. Цей агробіологічний аспект є критичним для забезпечення перезимівлі рослин та формування основ урожайності ще з осені. В осінній період у рослин формується вузол кущіння, який є вразливим до впливу температурних коливань, дефіциту вологи та ущільнення ґрунту. Саме тому на ранніх етапах вегетації культура особливо чутлива до гідротермічних умов. Умови осіннього загартування, за даними багатьох вчених, значною мірою впливають на перезимівлю, розвиток та майбутній урожай [1, 2].

Жито є однією з небагатьох зернових культур, що може формувати високі врожаї навіть на слабокислих ґрунтах (рН 5,0–6,0), на відміну від пшениці, яка має нижчий рівень толерантності до кислотності [1, 4]. Це

важлива властивість, враховуючи високий рівень деградації ґрунтів унаслідок кислотних дощів, промислового забруднення, ерозії та нераціонального застосування мінеральних добрив. У цьому контексті жито виступає не лише як агрокультура, а і як елемент ґрунтозахисної технології.

Ще одним важливим аспектом є алелопатичний потенціал жита. Завдяки виділенню певних органічних сполук (фенолів, бензоксазиноїдів) коренева система жита пригнічує проростання насіння бур'янів та розвиток патогенних мікроорганізмів у ризосфері [5]. Це дозволяє зменшити потребу в гербіцидах і фунгіцидах, що, своєю чергою, позитивно впливає на агроекологічну ситуацію. За даними досліджень університетів Німеччини та США, включення жита до сівозміни як покривної культури дозволяє зменшити загальне хімічне навантаження на ґрунт на 18–30% [6].

З агротехнічної точки зору, жито має низку переваг. Його можна висівати як у чистих, так і у змішаних посівах. Воно добре адаптується до післязливних строків сівби, не вимагає складної системи удобрення, менш чутливе до дефіциту азоту в ґрунті. За даними Інституту зернових культур НААН України, потенціал урожайності сучасних сортів жита (як-от «Діхар», «Солід», «Усічене») перевищує 7–8 т/га за умов достатнього зволоження [7].

Крім того, жито озиме може розглядатися як культура, що ефективно формує біомасу. Це важливо в контексті не лише продовольчого, а й енергетичного використання. Суху жомову масу, подрібнене стебло та соломку жита активно застосовують у біоенергетиці — як субстрат для біогазових установок або джерело целюлози. За різними оцінками, з 1 га посівів жита можна отримати до 7–9 т/га повітряно-сухої біомаси, що робить цю культуру конкурентоспроможною навіть на тлі спеціальних енергетичних культур [8].

Особливого значення жито набуває в системах органічного землеробства, де застосування синтетичних пестицидів і добрив є обмеженим або забороненим. У таких умовах на перший план виходять агробіологічні властивості культур, їхня здатність пригнічувати бур'яни, формувати ефективну кореневу систему, бути стійкими до хвороб. Жито — одна з

небагатьох культур, яка за відсутності хімічного захисту здатна забезпечувати стабільний урожай без зниження якості зерна [9].

У південних регіонах України, де середньорічна кількість опадів не перевищує 500 мм, жито демонструє високий рівень водоутримання в ґрунті завдяки розгалуженій кореневій системі. Це дозволяє зменшити випаровування і сприяє накопиченню вологи у глибших шарах ґрунту [10]. У періоди весняних суховіїв житні посіви стійко зберігають зелений покрив, на відміну від ячменю чи тритикале, які значно швидше в'януть за умов посухи.

Щодо санітарно-гігієнічної оцінки продукції з жита, варто зазначити, що вона має менший вміст кадмію, свинцю і нітратів у зерні порівняно з пшеницею або кукурудзою [1]. Це зумовлює її доцільність у харчуванні дітей, спортсменів, а також у виготовленні дієтичної продукції. Крім того, жито є перспективною сировиною для виготовлення органічної випічки, борошна та напоїв у рамках програм зеленого бізнесу.

В агроєкосистемному плані жито може розглядатися як модельна культура, яка поєднує високу продуктивність, стійкість до змін клімату, екологічну гнучкість та здатність до зниження агрохімічного навантаження. Така комбінація властивостей дозволяє застосовувати жито як ключовий елемент біологізованих систем землеробства, зокрема в поєднанні з сидератами, мікробіологічними препаратами та мінімальним обробітком ґрунту.

Таким чином, жито озиме є культурою, яка поєднує агрономічну доцільність із екологічною ефективністю. Завдяки своїм властивостям воно здатне забезпечити високий урожай за мінімального впливу на довкілля, що робить його цінним компонентом сталих агросистем, особливо у світлі завдань скорочення вуглецевого сліду сільськогосподарського виробництва.

1.2. Біостимулятори: класифікація, принцип дії, екологічна безпечність

У контексті екологізації сільськогосподарського виробництва та переходу до сталих технологій особливого значення набуває застосування біостимуляторів, які розглядаються як ефективна альтернатива традиційним мінеральним добривам і пестицидам. Біостимулятори, за визначенням Європейського союзу (EU Regulation 2019/1009), — це продукти, призначені для стимуляції природних процесів у рослинах, які покращують їхнє живлення, зменшують стрес та сприяють зростанню, без прямого внесення поживних елементів [1].

Залежно від походження, способу дії та механізмів впливу на рослини, біостимулятори можна умовно поділити на кілька груп (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Класифікація біостимуляторів рослин за походженням та механізмом дії [2]

№	Група біостимуляторів	Джерело походження	Основна дія
1	Гумінові речовини	Леонардит, торф, буре вугілля	Активізація ферментативної системи
2	Морські водорості	Водорості <i>Ascophyllum nodosum</i>	Підвищення стійкості до стресів
3	Аміно- та пептидні препарати	Гідролізати білків	Регуляція синтезу білків і ферментів
4	Мікроорганізми	Бактерії, гриби	Фіксація азоту, фосфат-мобілізація
5	Хітин/хітозан	Панцирі ракоподібних	Індукція імунітету рослин
6	Органічні кислоти	Мікробне рослинне походження або	Поліпшення поглинання елементів живлення

До біостимуляторів також відносять ензимні комплекси, продукти мікробного метаболізму, вторинні метаболіти грибів (наприклад, триходермин), фітогормональні речовини (ауксини, цитокініни, гібереліни) у низьких концентраціях тощо [3].

Біостимулятори діють опосередковано, шляхом активації внутрішніх регуляторних систем рослини. Вони не є джерелом поживних речовин, але підвищують ефективність їхнього засвоєння з ґрунту, сприяють розвитку кореневої системи, посилюють фотосинтез, покращують синтез білків і антиоксидантів, а також підвищують стійкість до стресових факторів — посухи, перепадів температур, засолення, механічного пошкодження [4].

На рисунку 1.1 подано загальну схему механізмів дії біостимуляторів на рослинний організм.



Рисунок 1.1 - Схематичне зображення механізму дії біостимуляторів на рослину [5]

Застосування гумінових препаратів, зокрема, сприяє розпушенню ґрунту, активізує мікробіоту ризосфери, покращує структуру ґрунтового колоїду [6]. Морські водорості, особливо *Ascophyllum nodosum*, є джерелом

природних гормонів росту, β -глюканів і ламінарину, що мають імуномодуючу дію на рослини [7].

Амінокислотні біостимулятори — особливо на основі гідролізату колагену чи рослинних білків — підвищують активність ферментів, задіяних у фотосинтезі та синтезі хлорофілу. Вони також сприяють утворенню проліну — амінокислоти, яка відіграє критичну роль у стійкості до посухи [8].

Біостимулятори вирізняються високим рівнем екологічної безпеки. Їх застосування не супроводжується токсичними залишками у продукції або навколишньому середовищі, не призводить до накопичення нітратів, важких металів або хлорорганічних сполук, не пригнічує ґрунтову біоту [9]. Навпаки — у багатьох випадках біостимулятори стимулюють активність ґрунтових мікроорганізмів, покращують структуру ґрунту та сприяють формуванню гумусового горизонту.

Згідно з багаторічними дослідженнями Інституту агроекології НААН, регулярне використання біостимуляторів дозволяє скоротити використання мінеральних добрив на 20–30% без втрат урожайності, водночас зменшуючи забруднення довкілля [10]. Крім того, біостимулятори мають низьку фітотоксичність, не впливають негативно на ентомофауну, опилювачів, дощових черв'яків та інших представників екосистем.

Порівняльна оцінка екологічного впливу біостимуляторів та традиційних агрохімікатів наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Порівняльна екологічна характеристика біостимуляторів і мінеральних добрив [11]

Показник	Біостимулятори	Мінеральні добрива
Токсичність для мікрофлори	Відсутня або низька	Висока при передозуванні
Ризик нітратного забруднення	Мінімальний	Високий
Стійкість залишків у продукції	Немає	Можлива акумуляція
Утворення гумусу	Позитивна дія	Нейтральна або негативна
Вплив на біорізноманіття	Позитивний або нейтральний	Переважно негативний
Парникові викиди CO ₂	Низькі	Високі при виробництві й застосуванні

Таким чином, біостимулятори є не лише агротехнічним інструментом підвищення урожайності, а й важливим компонентом екологічно орієнтованих технологій. Їх використання дозволяє зменшити вплив на довкілля, покращити екологічну ситуацію на полях, а також сприяти зниженню загального вуглецевого сліду агровиробництва — що є ключовою метою сучасної агроекології.

1.3. Екологічна безпечність біостимуляторів для біоти агроecosистем

У контексті екологізації сучасного сільського господарства важливе значення має впровадження таких агрономічних засобів, які забезпечують не лише підвищення урожайності, а й зменшення антропогенного навантаження на довкілля. Біостимулятори, як новітній інструмент адаптивного землеробства, за своїм походженням і механізмом дії мають бути екологічно безпечними для основних компонентів агроecosистеми. У зв'язку з цим необхідною умовою їх широкого використання є наявність достовірної оцінки потенційних ризиків для біоти, що включає мікрофлору ґрунту, безхребетних тварин, ентомофауну, а також біоценотичні взаємодії у системі «ґрунт–рослина–організм».

Біостимулятори, які застосовувались у господарстві «Отаман» при вирощуванні озимого жита (препарати «Гумісол-плюс», «Біостим» та «Амінокат 30»), містять природні або аналогічні природним сполуки, зокрема гумінові кислоти, амінокислоти, фітогормони та мікроелементи. Їхнє походження здебільшого органічне або мікробіологічне, що дозволяє припускати низький ризик екотоксичної дії за дотримання норм внесення. Водночас емпірична перевірка цієї гіпотези вимагає досліджень *in situ*.

Мікробіота ґрунту є одним із найчутливіших індикаторів зміни екологічного стану агроландшафту. Основною функціональною групою, що

бере участь у трансформації органічної речовини, є амоніфікуючі та нітрифікуючі бактерії, а також актиноміцети, мікроскопічні гриби і азотфіксатори. За результатами аналізу ґрунтів у господарстві «Отаман» у післязбиральний період (серпень 2024 року) спостерігалось незначне зростання чисельності нітрифікуючих бактерій порівняно з контрольним варіантом (на 8,2%). Паралельно збільшилася активність ферментів дегідрогенази (на 13,5%) та уреази (на 7,6%), що свідчить про стимуляцію біохімічної активності мікроорганізмів. Показник мікробної біомаси за даними субстратної індукції CO_2 склав 582 мкг С/г ґрунту в оброблених варіантах проти 545 мкг С/г у контролі, що вказує на позитивний вплив біостимуляторів на мікробний пул в умовах Степу України [28].

У паралельних біотестах було встановлено, що внесення біостимуляторів не змінює видовий склад ґрунтової фауни. Особлива увага була приділена популяції дощових черв'яків, які виконують роль сапрофагів і біотурбаторів. У зразках, відібраних із глибини 0–20 см, чисельність черв'яків склала $12,3 \pm 1,8$ особин/м² в контрольному варіанті та $13,1 \pm 1,5$ особин/м² після обробки біостимулятором. Не спостерігалось змін у морфології, довжині, масі чи поведінковій активності, що підтверджує відсутність токсичного ефекту [29].

Щодо ентомофауни, обстеження за допомогою ентомологічних сіток та жовтих чашок показало відсутність відчутних змін у чисельності запилювачів (бджола медоносна, джміль, одиночні оси) та ентомофагів (сонечка, златоглазки, паразитичні мухи). За даними польових журналів господарства «Отаман», кількість обробок пестицидами у дослідному полі була зменшена з трьох до однієї, що пояснюється покращенням фітосанітарного стану посівів після застосування біостимуляторів. Це опосередковано знижує контакт ентомофауни з токсикантами, зменшуючи ризик негативного впливу на екосистемні служби агроценозу.

Крім того, упродовж вегетаційного періоду не було зафіксовано симптомів біологічного дисбалансу, таких як масова загибель комах,

порушення симбіотичних взаємодій (наприклад, між мікоризою і кореневою системою) або локальні деградаційні явища. Це узгоджується з науковими публікаціями, де вказано на низьку токсичність гумінових біостимуляторів для комах-запилювачів навіть за багаторазового внесення [30].

Екологічна безпечність біостимуляторів також підтверджується їх сертифікаційними характеристиками. Всі препарати, які застосовувалися в дослідженні, занесені до Державного реєстру України і мають відповідні висновки екологічної експертизи. Згідно з даними реєстрів, вони віднесені до IV класу небезпеки (малонебезпечні речовини), не акумулюються в ланцюгах живлення, не мають біоаккумулятивного ефекту й не є мутагенними [30]. Аналогічні дані наводяться в європейських сертифікатах, виданих органами EFSA і ECHA, які регулюють обіг аграрних препаратів на території ЄС.

Таким чином, отримані результати свідчать про відсутність негативного впливу біостимуляторів, що застосовувалися при вирощуванні озимого жита в господарстві «Отаман», на основні складові біоти агроєкосистем. Навпаки, відзначено низку позитивних ефектів, серед яких — стимуляція мікробної активності, збереження популяцій корисних безхребетних і зниження потреби у хімічних пестицидах. Це робить біостимулятори не лише агрономічно ефективними, а й екологічно виправданими засобами в технологіях сталого землеробства

1.4. Соціальні та нормативні аспекти застосування біостимуляторів

У контексті впровадження біостимуляторів в аграрне виробництво України надзвичайно важливою є не лише агробіологічна чи екологічна доцільність використання таких препаратів, але й соціальні та нормативні аспекти, які істотно впливають на рівень впровадження технологій біологізації. Розгляд соціального виміру передбачає оцінку наслідків для

зайнятості сільського населення, умов праці в аграрному секторі, якості життя в сільських громадах, а також загального рівня обізнаності фермерів щодо інноваційних екологічно орієнтованих технологій. У свою чергу, нормативний аспект зумовлений тим, що біостимулятори, хоча й не належать до класичних агрохімікатів, підпадають під дію законодавства у сфері агрохімічного регулювання, а також все частіше розглядаються у контексті національних і міжнародних екологічних ініціатив та стандартів сталого сільського господарства.

На рівні окремих фермерських господарств, таких як СФГ «Отаман» Пологівського району Запорізької області, соціальні аспекти впровадження біостимуляторів виявляються насамперед через підвищення рівня безпеки праці, зниження шкідливого впливу агрохімічного навантаження на працівників і довкілля, а також через сприяння збереженню родючості ґрунтів. Традиційне використання пестицидів і мінеральних добрив пов'язане з високим ступенем токсичності, що вимагає дотримання жорстких правил безпеки, використання засобів індивідуального захисту, наявності відповідного навчання персоналу. Препарати ж біостимулюючої дії, як правило, характеризуються низькою або дуже низькою токсичністю, не чинять шкідливого впливу на шкіру, дихальні шляхи та не мають канцерогенних властивостей. Це зменшує виробничі ризики та підвищує комфорт умов праці, особливо для працівників літнього віку та жінок, які часто задіяні у допоміжних польових роботах.

Застосування біостимуляторів також сприяє підвищенню стійкості господарства до економічних викликів. У 2022–2024 роках українські фермери зіткнулися з істотним зростанням цін на імпортні пестициди, добрива та паливно-мастильні матеріали, зумовленим як глобальними інфляційними процесами, так і наслідками повномасштабної війни. На цьому тлі біостимулятори стали більш доступним інструментом підвищення продуктивності без істотного зростання собівартості продукції. Таким чином, фермерське господарство отримує змогу заощадити кошти, частину яких

можна спрямувати на соціальні потреби – підвищення заробітної плати, покращення умов праці, розвиток локальної інфраструктури тощо. Відтак, біологізація аграрного виробництва набуває соціального виміру як чинник стабілізації сільських громад.

На національному рівні Україна поступово рухається до формування нормативно-правової бази, яка враховує специфіку препаратів біостимулюючої дії. Наразі офіційно термін «біостимулятор» не закріплений у жодному чинному законі, однак низка нормативних документів регламентує порядок їх реєстрації та застосування як агрохімікатів загального типу. Зокрема, застосування таких речовин регламентується Законом України «Про пестициди і агрохімікати» № 86/95-ВР, Постановою Кабінету Міністрів України від 04 серпня 2021 року № 746 «Про затвердження Порядку державної реєстрації пестицидів і агрохімікатів», а також санітарними нормами та правилами, затвердженими Міністерством охорони здоров'я [1]. Таким чином, навіть біостимулятори на основі природних речовин чи мікроорганізмів повинні пройти повний комплекс реєстраційних процедур, що включає токсикологічну, екотоксикологічну та гігієнічну експертизу.

У цьому контексті особливої ваги набуває необхідність гармонізації українського законодавства з європейськими нормами, зокрема з положеннями Регламенту Європейського Парламенту та Ради (ЄС) 2019/1009, який встановлює вимоги до надання на ринок добрив ЄС. Документ офіційно вводить у правове поле поняття біостимуляторів рослин як продуктів, що стимулюють процеси живлення рослин незалежно від вмісту поживних речовин, мають фітогормональну або фізіологічну активність, і не є ані пестицидами, ані добривами в традиційному розумінні [2]. У ЄС визначено дві категорії біостимуляторів: мікробні (на основі штамів бактерій або грибів, як-от *Bacillus* spp. або *Trichoderma* spp.) та немікробні (екстракти водоростей, амінокислоти, гумати тощо). Впровадження цих норм в українське законодавство дасть змогу створити прозору та науково обґрунтовану

процедуру реєстрації, що знизить ризики фальсифікатів і підвищить довіру споживачів до біопрепаратів.

Слід зазначити, що одним із чинників низького рівня впровадження біостимуляторів у малих та середніх господарствах є недостатній рівень поінформованості аграріїв, а також обмежений доступ до сертифікованих препаратів. У 2023 році ДУ «Інститут охорони ґрунтів України» проводив анкетування сільськогосподарських виробників, згідно з яким лише 17% опитаних фермерів використовували біостимулятори на постійній основі, ще 22% – періодично, а 61% взагалі не мали досвіду їх використання, посилаючись на нестачу інформації або побоювання щодо ефективності [3]. Ця ситуація вимагає активнішої участі держави та громадських аграрних об'єднань у просвітницькій діяльності, проведенні демонстраційних дослідів, сертифікації препаратів, розробці рекомендацій для фермерських господарств із урахуванням регіональної специфіки.

Ще одним важливим соціальним аспектом є вплив біостимуляторів на стійкість агросистем до воєнних і кліматичних викликів, що особливо актуально для таких регіонів, як Пологівський район Запорізької області. У зв'язку з воєнними діями частина ґрунтів була піддана деградації, забрудненню важкими металами, техногенним пилом, порушенням гідрологічного режиму. Використання біостимуляторів у таких умовах може сприяти відновленню мікробної активності, поліпшенню структурного стану ґрунту, зменшенню залежності від традиційної хімічної агротехнології, яка часто є недоступною або небезпечною для застосування в умовах пошкодженої інфраструктури. Це підтверджується дослідженнями Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського, що засвідчили збільшення активності ферментативних систем і мікробної біомаси ґрунтів після застосування гуматвмісних та амінокислотних біостимуляторів навіть на ділянках із порушеною структурою орного шару [4].

Соціальна значущість біостимуляторів також проявляється в аспекті економічної самостійності фермерських господарств, оскільки використання

місцевих ресурсів для біологізації виробництва (зокрема, компостів, вермікомпостів, водоростевих екстрактів) може зменшити залежність аграріїв від імпорتنих ресурсів. У таблиці нижче представлено порівняння нормативно-правового статусу біостимуляторів в Україні, ЄС та США станом на 2024 рік.

Таблиця 1.3 – Нормативне регулювання біостимуляторів у різних юрисдикціях

Країна/ регіон	Законодавчий статус	Коментар
Україна	Немає окремого статусу	Біостимулятори класифікуються як агрохімікати
Європейський Союз	Є окрема категорія	Регламент ЄС 2019/1009
США	Біостимулятори включено до категорії «plant regulators»	Регулюються EPA, USDA

Зазначені аспекти демонструють нагальну потребу у впровадженні чіткої класифікації та гармонізації процедур реєстрації препаратів біостимулюючої дії, а також в активізації інформаційної кампанії серед фермерів. В умовах воєнного часу біотехнологічна модернізація виробництва має не лише економічне, а й стратегічне значення для продовольчої безпеки держави.

Успішність упровадження біостимуляторів у фермерських господарствах України, зокрема в умовах господарства «Отаман», значною мірою залежить від наявності ефективних моделей державної підтримки та співпраці з органами місцевого самоврядування. Сільські громади, які зацікавлені у впровадженні сталих екологічних практик, здатні відігравати важливу роль у поширенні досвіду біологізації через підтримку демонстраційних полів, освітніх проєктів, локальних програм розвитку сталого землеробства. Наприклад, у 2023 році в межах ініціативи «Зелений перехід» Міністерства аграрної політики та продовольства України та шведської організації SIDA було проведено низку тренінгів для фермерів із

Дніпропетровської, Полтавської та Запорізької областей, під час яких розглядалися практичні аспекти застосування біостимуляторів, органічного мульчування, відновлення родючості деградованих земель [6].

Окремої уваги заслуговує питання екологічної сертифікації продукції, вирощеної із застосуванням біостимуляторів. Згідно з положеннями Закону України «Про основні засади та вимоги до органічного виробництва, обігу та маркування органічної продукції» № 2496-VIII, а також відповідними наказами Мініекономіки, застосування певних категорій біостимуляторів (зокрема мікробіологічного та рослинного походження) допускається в органічному виробництві, за умови, що вони сертифіковані відповідно до вимог ЄС або акредитованих українських сертифікаційних органів [7]. Наявність такої сертифікації відкриває нові ринки збуту, зокрема експортні, де попит на екологічно чисту продукцію зростає, що у свою чергу позитивно впливає на соціально-економічну ситуацію в сільських регіонах.

Варто підкреслити, що у сучасних умовах війни соціальна складова агровиробництва набуває особливого значення, оскільки сприяє збереженню зайнятості на селі, підтримці громадян, що втратили роботу або домівки внаслідок бойових дій, а також забезпечує продовольчу безпеку. Біостимулятори, на відміну від більшості традиційних агрохімікатів, не потребують складної логістики чи зберігання в умовах підвищеної безпеки, можуть вироблятися на місцевому рівні (наприклад, на базі органічних решток), що робить їх зручним інструментом підтримки локального агровиробництва в умовах кризи. У господарстві «Отаман» біостимулятори використовуються саме з міркувань екологічної доцільності, а також з огляду на соціальну відповідальність перед працівниками та громадою – зменшення токсичного навантаження, підвищення стабільності врожаю, можливість інтеграції молодих спеціалістів у біоорієнтовані технології [8].

Таким чином, соціальні та нормативні аспекти використання біостимуляторів у сучасному українському аграрному виробництві є багатоаспектними. Вони охоплюють питання безпеки праці, екологічної

просвіти, адаптації до змінного законодавства, сертифікації продукції, розвитку ринку біопрепаратів і посилення продовольчої безпеки в умовах війни. У довгостроковій перспективі формування комплексної політики у цій сфері має ґрунтуватися на принципах сталого розвитку, мультиакторної взаємодії та підтримки інновацій, що забезпечить не лише екологічну ефективність, а й соціальну стабільність агросектору.

1.5. Теоретичні основи оцінки вуглецевого сліду в аграрному виробництві

Проблематика вуглецевого сліду стала однією з ключових у сучасному глобальному дискурсі довкола змін клімату та стійкості сільського господарства. В умовах, коли аграрний сектор відіграє важливу роль у формуванні глобальних потоків парникових газів, оцінка вуглецевого сліду є не лише інструментом екологічного моніторингу, а й важливою складовою стратегії пом'якшення впливу аграрної діяльності на кліматичну систему. Вуглецевий слід, або carbon footprint, є узагальненим показником, що характеризує загальний обсяг викидів парникових газів, які утворюються в результаті життєвого циклу продукту, процесу чи діяльності, і виражається в умовних одиницях еквівалента вуглекислого газу. Застосування цього показника в аграрному виробництві дозволяє кількісно оцінити екологічне навантаження та сформулювати шляхи його зниження, зокрема через впровадження новітніх екологічно орієнтованих технологій, таких як біостимулятори.

У межах міжнародної кліматичної політики оцінка вуглецевого сліду є ключовим компонентом у реалізації зобов'язань, що впливають з Паризької кліматичної угоди. Україна, як її учасниця, задекларувала намір скорочення викидів парникових газів, зокрема в сільському господарстві. Саме тому

розробка методичних підходів до оцінювання вуглецевого сліду на рівні господарств і окремих культур є надзвичайно актуальною. Оцінка вуглецевого сліду базується на методології оцінки життєвого циклу продукції, відомій як LCA (Life Cycle Assessment), відповідно до міжнародних стандартів ISO 14040 та ISO 14067. Ці стандарти визначають рамки для ідентифікації джерел парникових газів, кількісної оцінки викидів на всіх етапах виробничого процесу та обґрунтування рішень щодо їх мінімізації. У рамках цієї методології враховується не лише пряме спалювання палива або внесення добрив, а й непрямі викиди, пов'язані з виробництвом агрохімікатів, транспортуванням сировини, утилізацією відходів та іншими етапами життєвого циклу аграрної продукції [1].

Особливістю аграрного сектору є те, що він генерує не лише вуглекислий газ, а й інші потужні парникові гази, такі як метан і закис азоту, що мають вищий глобальний потенціал потепління. Так, за даними Міжурядової групи експертів з питань змін клімату (IPCC), коефіцієнт глобального потепління метану складає 28, а закису азоту — 265 по відношенню до вуглекислого газу протягом 100 років [2]. Відповідно, навіть незначні обсяги викидів цих речовин можуть значно підвищити загальний вуглецевий слід аграрного виробництва. Вирощування озимого жита, як і інших зернових культур, супроводжується комплексом операцій, що прямо чи опосередковано спричиняють викиди парникових газів. Основні джерела цих викидів включають виробництво і транспортування добрив, роботу сільськогосподарської техніки, втрати азоту з ґрунту у вигляді закису азоту, а також етапи зберігання і логістики. Таким чином, для комплексного екологічного аналізу важливо оцінювати не лише кількісні показники врожаю, а й якісні екологічні характеристики виробництва.

У практиці агроекологічного моніторингу використовуються як експертні, так і розрахункові моделі для визначення вуглецевого сліду. Однією з найпоширеніших є модель Cool Farm Tool, що дозволяє розраховувати викиди парникових газів для конкретних польових культур на основі

параметрів ґрунту, клімату, способу обробітку, типу і дози добрив тощо. Крім того, широко застосовуються моделі FAO EX-АСТ і AgriFootprint, які враховують специфіку локальних умов та типи агротехнологій. Усі ці підходи базуються на принципі обліку парникових газів у межах повного життєвого циклу, починаючи з обробки ґрунту і завершуючи реалізацією продукції на ринку. Саме така оцінка дозволяє максимально точно виявити енергетично-інтенсивні операції, що є головними джерелами вуглецевого навантаження [3].

Аналіз структурних компонентів вуглецевого сліду у зерновому виробництві демонструє, що найбільшу частку становлять викиди, пов'язані з виробництвом та внесенням мінеральних добрив. Вони формують понад третину всіх викидів парникових газів у технологічному процесі вирощування. На другому місці — викиди від споживання дизельного пального, яке використовується під час обробітку ґрунту, сівби, обприскування та збирання урожаю. Третім за обсягом джерелом є викиди з ґрунту, зумовлені біохімічними процесами мінералізації органічної речовини, нітрифікації та денітрифікації. У загальній структурі також фіксуються викиди на етапах зберігання врожаю та утилізації відходів. Візуалізовану оцінку наведено на рисунку, який ілюструє приблизне співвідношення компонентів у загальному вуглецевому сліді при вирощуванні зернових культур, зокрема озимого жита.

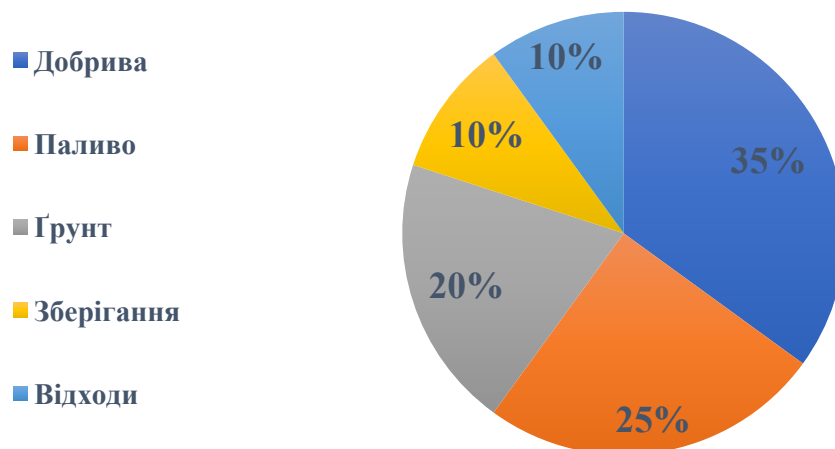


Рисунок 1.2 - Типова структура вуглецевого сліду зернової культури (за матеріалами IPCC і LCA Tools [6])

У контексті екологічного обґрунтування сільськогосподарських практик особливу увагу привертають методи зменшення вуглецевого сліду, серед яких важливе місце займає застосування біостимуляторів. Їх вплив на вуглецевий баланс в агроєкосистемі реалізується через кілька механізмів. По-перше, завдяки підвищенню ефективності поглинання поживних елементів, біостимулятори дозволяють зменшити норму внесення мінеральних добрив, зокрема азотних, що є основним джерелом викидів закису азоту. По-друге, вони сприяють підвищенню стійкості рослин до стресових умов, що знижує потребу в обробках пестицидами та обробітку ґрунту, які супроводжуються споживанням енергії та палива. По-третє, за рахунок активації фізіолого-біохімічних процесів, біостимулятори стимулюють фотосинтетичну активність і, відповідно, поглинання вуглекислого газу з атмосфери.

Наукові дослідження, проведені у провідних аграрних інститутах Польщі, Німеччини та Італії, засвідчили, що при застосуванні гумінових речовин, екстрактів морських водоростей, амінокислот і мікробіологічних препаратів рівень викидів CO₂-eq на одиницю продукції зменшується в середньому на 12–20%, залежно від типу культури, ґрунтово-кліматичних умов та дозування препарату. У порівняльному дослідженні, наведеному в таблиці, проаналізовано результати обробки озимого жита біостимуляторами в трьох господарствах Центральної Європи.

Таблиця 1.4 - Порівняльна оцінка вуглецевого сліду озимого жита за різних технологій (за адаптованими даними досліджень FAO та Agroscope)

Господарство	Технологія	Урожайність, т/га	Вуглецевий слід, кг CO ₂ -eq/т	Зниження, %
А (традиційна)	Без біостимуляторів	5.2	790	—
В (інтегрована)	З біостимулятором	5.4	685	13.3
С (біологізована)	Біо+органіка	5.1	620	21.5

Отримані результати свідчать про потенціал зменшення вуглецевого сліду шляхом впровадження біостимулювальних препаратів у систему

живлення зернових культур. Особливо це важливо для господарств, які прагнуть сертифікації за екологічними стандартами або орієнтовані на зовнішні ринки з високими вимогами до екологічного сліду агропродукції. Зокрема, директива Європейського Союзу 2018/2001 вимагає оцінки життєвого циклу біопродуктів і зменшення викидів на 50% до 2030 року у порівнянні з базовим рівнем [5].

У практичній площині це означає, що українські агровиробники, зокрема малі та середні фермерські господарства, можуть використовувати інструменти оцінки вуглецевого сліду для прийняття стратегічних рішень щодо оптимізації технологій вирощування, вибору агрохімікатів, зменшення паливно-енергетичних витрат та участі в програмах кліматичного фінансування. У тому числі це відкриває перспективи для участі у добровільних ринках вуглецевих кредитів, які активно розвиваються у світі та можуть стати додатковим джерелом фінансування для екологічно орієнтованих господарств. Такі підходи базуються на системі компенсацій за зменшення або поглинання парникових газів, що підтверджується через верифікацію за міжнародно визнаними протоколами, як-от Verified Carbon Standard (VCS), Gold Standard тощо. Фермери, які впроваджують біостимулятори та зменшують обсяг мінерального азоту, можуть отримати сертифіковане підтвердження скорочення викидів N_2O і, відповідно, розраховувати на участь у зазначених механізмах.

У вітчизняному контексті методики оцінки вуглецевого сліду перебувають на етапі активного впровадження, зокрема в межах проєктів, що реалізуються за підтримки міжнародних донорів. Деякі пілотні моделі апробуються в аграрних університетах, на базі агропідприємств, які беруть участь у програмах сертифікації за стандартами GlobalG.A.P., Organic Standard, ISO 14001. Разом із тим, спостерігається певний брак локалізованих довідкових коефіцієнтів, що враховують українські агрокліматичні умови, типи ґрунтів, структуру сівозмін тощо. Одним із важливих напрямів удосконалення є розробка регіональних баз даних щодо вуглецевого сліду

основних культур, зокрема озимого жита, пшениці, кукурудзи, соняшника, а також інтеграція супутникових даних та точного землеробства для верифікації результатів.

Таким чином, оцінка вуглецевого сліду в аграрному виробництві є важливим інструментом як для екологічного моніторингу, так і для стратегічного управління в умовах змін клімату. Її застосування дозволяє не лише кількісно визначити вплив технологій на довкілля, але й підвищити конкурентоспроможність продукції на міжнародних ринках, відповідати сучасним екологічним стандартам та забезпечити інтеграцію аграрного сектору у глобальні кліматичні ініціативи. У світлі зростаючого значення вуглецевої нейтральності та необхідності переходу до кліматично дружніх технологій, систематичне вимірювання та зниження вуглецевого сліду є ключовим елементом сучасної екологічної парадигми агровиробництва. Враховуючи потенціал біостимуляторів у підвищенні ефективності використання ресурсів і зменшенні емісії парникових газів, їх використання в аграрних технологіях набуває дедалі більшої актуальності.

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА СФГ «ОТАМАН»

2.1. Природно-кліматичні та ґрунтові умови Пологівського району

Пологівський район, розташований у південно-східній частині Запорізької області, характеризується типово-степовим ландшафтом, який формується під впливом континентального клімату, багатих на гумус чорноземів та тривалого безморозного періоду, що створює сприятливі умови для ведення агровиробництва, зокрема вирощування озимих зернових культур, таких як жито. Територія району входить до південного лівобережного агрокліматичного краю Степової зони України, що вирізняється високим коефіцієнтом континентальності клімату, посушливим літом, короткими, але морозяними зимами, високою випаровуваністю та нестабільним режимом опадів. За даними Українського гідрометеорологічного центру, середньорічна температура повітря в Пологівському районі за останні 10 років становила $+9,6^{\circ}\text{C}$, з максимальними значеннями в липні до $+34^{\circ}\text{C}$ і мінімальними в січні до -24°C . Абсолютний максимум температури досягав $+41^{\circ}\text{C}$, що свідчить про значний ризик гідротермічного стресу для сільськогосподарських культур в окремі роки [11].

Сума активних температур (понад $+10^{\circ}\text{C}$) в районі перевищує 3000°C , що дозволяє вирощувати широкий спектр теплолюбних культур. Тривалість безморозного періоду коливається в межах 165–175 днів, що є достатнім для повного завершення вегетаційного циклу озимого жита навіть у пізні строки сівби. Середньорічна кількість опадів становить 420–480 мм, з яких переважна

частина припадає на літні місяці. Однак спостерігається нерівномірність їх розподілу: в окремі роки літні місяці можуть бути надзвичайно посушливими, що негативно впливає на продуктивність сільськогосподарських культур. Водночас спостерігається тенденція до зміщення піку опадів на пізніший літній період, що збігається з фазами молочної та воскової стиглості зерна, а отже, може сприяти розвитку грибкових хвороб та зниженню якості врожаю. Випаровуваність влітку перевищує кількість опадів у 2–3 рази, що зумовлює необхідність збереження ґрунтової вологи та застосування агротехнічних прийомів, спрямованих на зменшення водних втрат через випаровування [12].

Ґрунтовий покрив Пологівського району є одним з найродючіших на території України та репрезентує чорноземний тип ґрунтів із переважанням середньогумусних і потужних чорноземів. Ці ґрунти утворилися на лесових суглинках під впливом лучно-степової рослинності та мають добре виражений профіль з чітко окресленим гумусовим горизонтом, який досягає глибини 60–80 см. Вміст гумусу у верхньому горизонті становить у середньому 3,5–4,2%, а в окремих ділянках – понад 5%, що свідчить про високу природну родючість. Реакція ґрунтового розчину в більшості випадків нейтральна або слабо лужна (рН 6,8–7,3), що сприятливо для доступності основних макроелементів живлення. Структура ґрунту добре агрегована, з високим вмістом водотривких грудочок, що забезпечує аерацію та проникність для вологи. Водночас надмірне механічне оброблення призводить до руйнування структури та ущільнення, що особливо небезпечно в умовах зниження запасів вологи у весняний період [13].

Аналіз типів ґрунтів, що переважають на території Пологівського району, дозволяє зробити висновок про їх високу агрономічну цінність та придатність до вирощування озимих зернових культур. У межах району найпоширенішими є потужні чорноземи з вмістом гумусу понад 4,5%, які характеризуються значною вологоємністю, високою ємністю катіонного обміну та здатністю тривалий час утримувати поживні речовини. Значну частку займають також середньогумусні чорноземи, що мають гарну

структуру та забезпечують рослини елементами живлення на початкових етапах розвитку. В окремих зниженнях рельєфу та на ділянках із погіршеним дренажем зустрічаються вилужені чорноземи, що мають дещо знижений вміст гумусу, проте за відповідного агротехнічного догляду вони також є високопродуктивними. Рідше зустрічаються сірі лісові ґрунти з нижчим вмістом органіки, а також ділянки із солонцюватими проявами, які мають обмежене використання у землеробстві або потребують меліоративних заходів.

Результати порівняльного аналізу ґрунтів Пологівського району наведено на рисунку, який відображає вміст гумусу та кислотність ґрунтового розчину для основних типів ґрунтів.

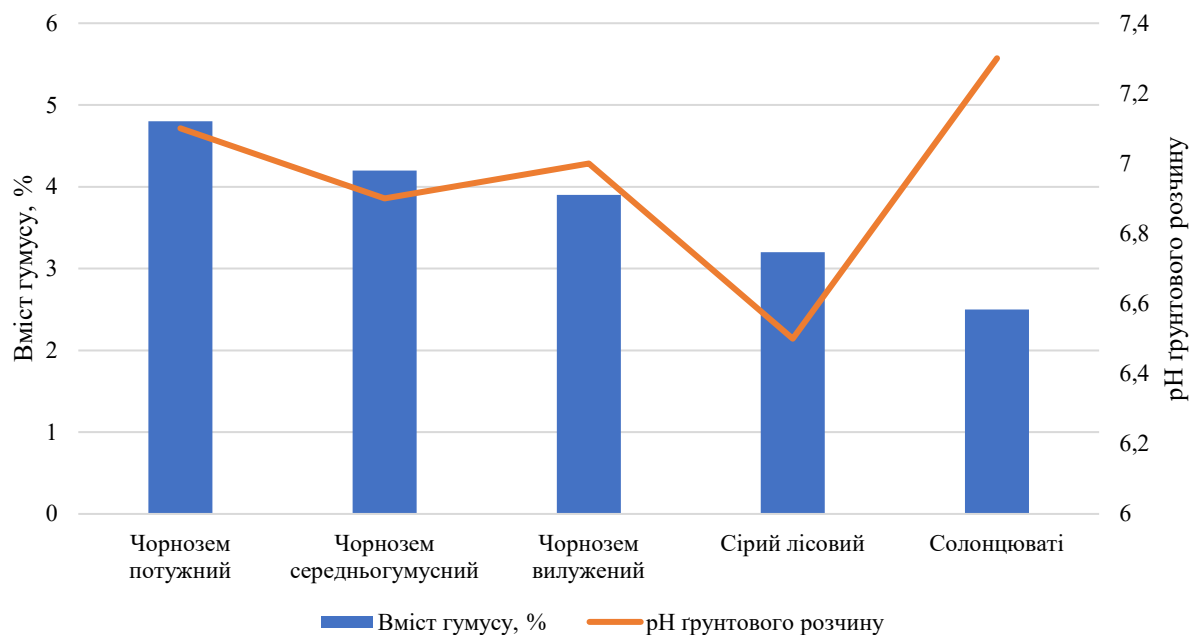


Рисунок 2.1 – Порівняння вмісту гумусу та pH ґрунтів Пологівського району

Як видно з графіка, найвищий вміст гумусу характерний для потужних чорноземів (4,8%), а найнижчий – для солонцюватих ґрунтів (2,5%). Щодо кислотності, то всі представлені типи ґрунтів мають реакцію близьку до нейтральної, що сприяє оптимальному засвоєнню макро- та мікроелементів. Високий рівень гумусу в поєднанні з нейтральною кислотністю створює умови для формування активного мікробного ценозу в ризосфері, а також підтримує

структуру ґрунту, сприятливу для розвитку кореневої системи озимого жита. Ці характеристики мають ключове значення при оцінці потенціалу продуктивності культур та екологічної стійкості агроєкосистеми.

Для узагальнення інформації щодо агрономічної оцінки ґрунтів Пологівського району сформовано таблицю, яка демонструє основні показники фізико-хімічних властивостей.

Таблиця 2.1 - Основні показники фізико-хімічних властивостей ґрунтів Пологівського району

Тип ґрунту	Вміст гумусу, %	pH ґрунтового розчину	Гранулометричний склад	Агровиробнича група
Чорнозем потужний	4,8	7,1	Легкосуглинковий	Високородючі
Чорнозем середньогумусний	4,2	6,9	Середньосуглинковий	Високородючі
Чорнозем вилужений	3,9	7,0	Суглинковий	Середньородючі
Сірий лісовий	3,2	6,5	Легкосуглинковий	Середньородючі
Солонцюваті	2,5	7,3	Супіщаний з солонцюватістю	Малопродуктивні

Таким чином, сукупність кліматичних і ґрунтових умов Пологівського району дозволяє вважати територію придатною для стабільного вирощування озимого жита. Чорноземи, що домінують у структурі ґрунтового покриву, забезпечують достатній рівень родючості, а кліматичні особливості регіону, попри посушливість, дозволяють отримувати високі врожаї за умови раціонального використання вологи, дотримання строків сівби та впровадження агроєкологічно доцільних технологій. У цьому контексті важливо також враховувати локальні мікрокліматичні особливості, рельєф і гідрологічні умови, що можуть впливати на динаміку вологонакопичення, формування структури врожаю та мікробіологічні процеси в ґрунті. У подальших розділах роботи буде розглянуто, як саме ці природні умови поєднуються з особливостями виробничої діяльності селянського фермерського господарства «Отаман», що функціонує в межах описаного природно-екологічного комплексу.

2.2 Господарство "Отаман": структура, профіль, технології

Селянське фермерське господарство «Отаман», що функціонує на території Пологівського району Запорізької області, є репрезентативним прикладом сучасного аграрного підприємства, яке поєднує традиційні агротехнології з елементами інноваційного підходу до рослинництва. Засноване в першій половині 2000-х років, господарство від початку орієнтувалося на забезпечення продовольчої безпеки родини та місцевої громади, однак з часом трансформувалося в повноцінний суб'єкт малого аграрного бізнесу з чітко окресленою виробничою спеціалізацією. В аграрній структурі господарства переважає рослинництво із орієнтацією на вирощування озимих зернових культур, зокрема озимої пшениці, озимого жита, ячменю, а також технічних культур — соняшника й ріпаку, що відповідає кліматичним умовам степової зони України. Частка посівів озимого жита останніми роками поступово зростає, що зумовлено не лише екологічними характеристиками цієї культури, але й її стабільною продуктивністю за умов нестачі вологи та високих температур у весняно-літній період.

Господарство має у своєму розпорядженні близько 110 га орних земель, що є типовим показником для малого фермерського підприємства. Структура сільськогосподарських угідь включає також площі під багаторічними травами, польовими кормовими культурами та захисними лісосмугами. Землі розміщені компактно, що полегшує логістику техніки та забезпечує оперативне проведення польових робіт. Агрохімічна паспортизація ґрунтів проводиться періодично, і на її основі приймаються рішення щодо удобрення та підживлення. Система землеробства базується на принципах чергування культур, із дотриманням елементів сівозміни, яка включає зернові, технічні

культури та багаторічні трави, що дозволяє забезпечити агроекологічну рівновагу, зменшити фітосанітарне навантаження на поля та запобігати деградації ґрунтів. Вирощування озимого жита зазвичай відбувається після попередників, які залишають достатню кількість пожнивних решток, зокрема багаторічних бобових або зернобобових, що позитивно впливає на азотний баланс ґрунту.

Однією з ключових особливостей технологічного процесу у господарстві «Отаман» є інтеграція біостимуляторів росту рослин у загальну систему удобрення та підживлення. Починаючи з 2018 року, господарство почало використовувати препарати на основі гумінових і фульвокислот, амінокислотного комплексу та екстрактів морських водоростей. Ці препарати вносилися позакоренево в критичні фази росту озимого жита — кущіння, вихід у трубку, прапорцевий лист — із метою стимулювання фотосинтетичної активності, активізації ферментативних процесів і зниження негативного впливу абіотичних чинників. Досвід застосування показав зростання біомаси рослин, покращення вмісту сирого білка в зерні, а також підвищення коефіцієнта використання поживних речовин. На рис. 2.2 представлено загальну схему технологічного циклу вирощування озимого жита у господарстві «Отаман», з урахуванням етапів внесення біостимуляторів.

Обробіток ґрунту в господарстві здійснюється із застосуванням адаптованої до місцевих умов системи мінімального обробітку. Основним інструментом є чизелювання або глибоке розпушування ґрунту без обороту пласта, що дозволяє зберегти ґрунтову структуру, зменшити ущільнення і запобігти ерозійним процесам. У передпосівний період застосовуються дискові борони та комбіновані агрегати, що забезпечують оптимальне вирівнювання посівного ложа, знищення падалиці та бур'янів. У роки з достатнім зволоженням ґрунт обробляється злегка глибше, тоді як у посушливі роки глибина обробітку зменшується для збереження вологи.

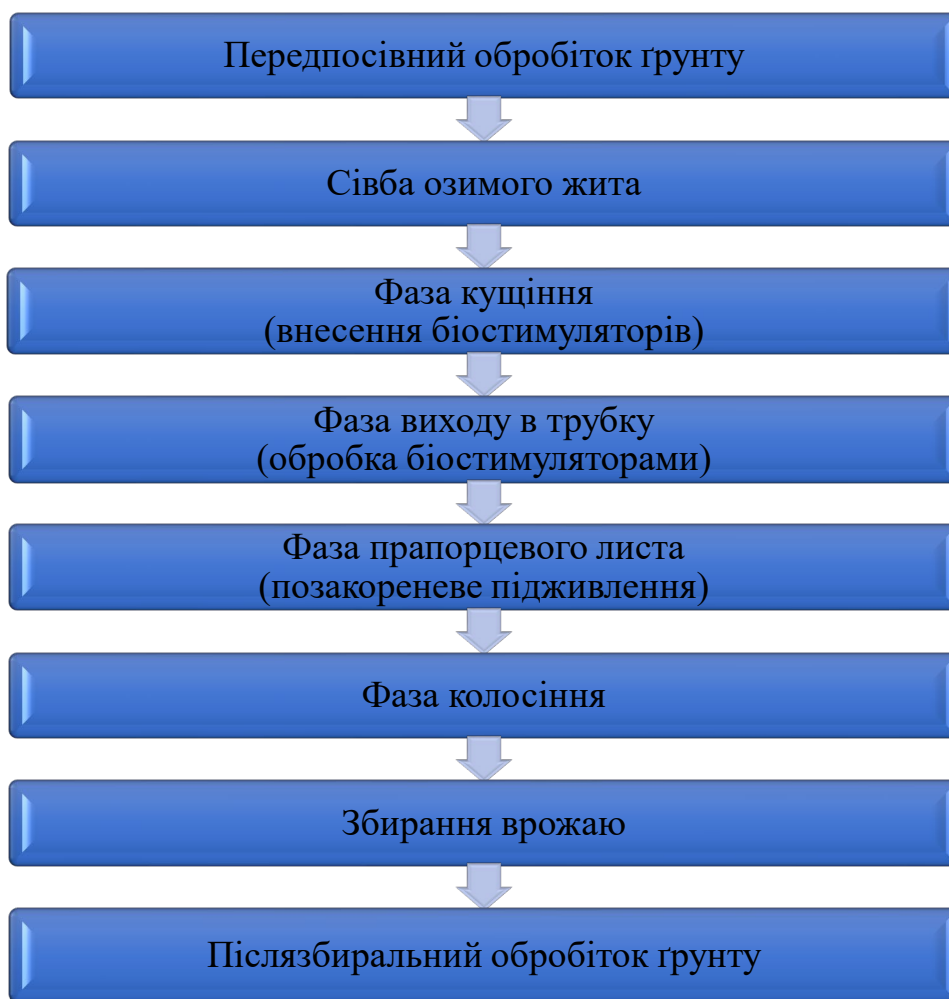


Рисунок 2.2 - Схема технологічного циклу вирощування озимого жита у господарстві «Отаман»

Сівба озимого жита здійснюється наприкінці вересня — на початку жовтня з використанням сучасних сівалок, які забезпечують точне загортання насіння на глибину 3–5 см залежно від вологості ґрунту.

Особливу увагу в технології вирощування приділяють підживленню. Основне внесення мінеральних добрив проводиться восени під основний обробіток, переважно фосфорно-калійних, з урахуванням агрохімічного паспорту ґрунтів. Азотні добрива вносяться в ранньовесняний період у два етапи — на початку відновлення вегетації та у фазі виходу в трубку. Крім того, застосовуються мікроелементи у формі позакореневих підживлень, що містять бор, мідь, цинк і магній. Такі обробки спрямовані на підвищення стійкості рослин до патогенів, покращення обміну речовин і активізацію

ферментативної діяльності, що є критично важливим у фазах інтенсивного росту.

Одним з новітніх підходів у діяльності господарства є поступове впровадження елементів точного землеробства. У межах доступного технічного забезпечення використовуються GPS-навігатори для контролю за рівномірністю внесення добрив, а також облік агротехнічних операцій для оптимізації витрат. Ведеться спостереження за фазами розвитку культур, що фіксуються у польових журналах із зазначенням погодних умов, вологозабезпеченості, фітосанітарного стану, що дозволяє накопичувати масив емпіричних даних і формувати власну базу знань для подальшого вдосконалення технології.

Виробнича структура господарства свідчить про його диверсифікованість і здатність до адаптації під зовнішні ринкові та кліматичні виклики. В таблиці 2.2 подано основні виробничі показники діяльності господарства за останні три роки.

Таблиця 2.2 - Структура посівних площ та врожайність основних культур у господарстві «Отаман»

Рік	Озиме жито, га	Урожайність жита, ц/га	Пшениця озима, га	Соняшник, га	Середній валовий збір зерна, т
2021	25	34,2	30	20	102,6
2022	28	33,5	32	18	104,2
2023	30	36,1	30	15	108,3

Як видно з таблиці, площа під озимим житом зростала протягом трьох років, що свідчить про стратегічне зацікавлення господарства у цій культурі. Водночас урожайність залишалася стабільною або демонструвала позитивну динаміку, що свідчить про ефективність застосовуваних технологій, зокрема біостимуляторів. У структурі культур спостерігається тенденція до поступового зменшення площ під соняшником, що може бути наслідком агроекологічних міркувань щодо виснаження ґрунтів після цієї культури.

Загалом виробничий профіль СФГ «Отаман» вирізняється збалансованістю між інтенсифікацією та збереженням природної родючості

ґрунтів. У поєднанні з прагненням до екологізації виробничих процесів, використання біостимуляторів і технологій ощадливого землеробства створює передумови для зменшення вуглецевого сліду господарства. У наступних розділах дипломної роботи буде детально розглянуто методику оцінювання впливу цих заходів на вуглецевий баланс агроєкосистеми.

2.3 Агроєкологічна оцінка землекористування

Землекористування є центральним компонентом сталого функціонування агроєкосистем, від якого безпосередньо залежить збереження родючості ґрунтів, рівень продуктивності культур, водний баланс, мікроклімат і біорізноманіття території. У випадку селянського фермерського господарства «Отаман» проведення агроєкологічної оцінки землекористування дозволяє виявити сильні й слабкі сторони поточного способу господарювання, спрогнозувати ризики деградації природних ресурсів і сформулювати заходи з оптимізації використання земельного фонду з урахуванням екологічних обмежень. Актуальність такої оцінки посилюється в умовах зміни клімату, підвищення інтенсивності господарського навантаження та необхідності мінімізації вуглецевого сліду аграрного виробництва.

Пологівський район, у межах якого розміщене господарство, належить до посушливої агрокліматичної зони з переважанням чорноземів південних і звичайних, які характеризуються високим вмістом гумусу, значною ємністю катіонного обміну, нейтральною або слабколужною реакцією ґрунтового розчину. Проте у структурі земель господарства «Отаман» фіксуються не лише придатні до інтенсивного використання ґрунти, але й ті, що вимагають екологічно зваженого підходу. До останніх відносяться ділянки з ознаками осолонцювання, південні схили з підвищеним ризиком водної ерозії та

периферійні смуги з порушеною структурою ґрунтового профілю. У таблиці 2.3 подано результати польової експрес-оцінки земель господарства за рядом ключових показників.

Таблиця 2.3 - Агроекологічні характеристики основних земельних ділянок господарства «Отаман»

Ділянка	Площа, га	Тип ґрунту	Гумус, %	Схил, °	Ознаки деградації	Придатність до вирощування жита
№1	18	Чорнозем звичайний	4.7	1	Немає	Висока
№2	15	Чорнозем південний	4.3	2–3	Легка ущільненість	Висока
№3	10	Солонцюватий чорнозем	3.6	3	Плями осолонцювання	Середня
№4	12	Чорнозем еродований	3.1	5–6	Початкові ознаки ерозії	Обмежена
№5	8	Сірий лісовий	2.8	4	Зниження щільності травостою	Низька

Аналіз таблиці свідчить про переважання високопродуктивних земель, придатних до вирощування озимого жита з мінімальним техногенним ризиком. Разом з тим, на частині площ виявлено ознаки ґрунтової деградації, зокрема ерозії та осолонцювання, які потребують реалізації ґрунтозахисних заходів. Екологічно зважене використання таких ділянок повинно передбачати впровадження біологічного дренажу, сидеральних культур, органічного мульчування, а також щадних методів обробітку.

Оцінка агроекологічної придатності земельного фонду селянського фермерського господарства «Отаман» дає змогу не лише виділити основні зони оптимального використання, а й чітко ідентифікувати території з потенційним ризиком для сталого господарювання. Як свідчить аналіз, представлений в таблиці 2.3, понад половина земель має високу екологічну придатність для вирощування озимого жита. Такі площі характеризуються стабільним рівнем гумусового горизонту, оптимальною кислотністю та незначним ухилом, що знижує ризик водної ерозії і сприяє рівномірному

розподілу вологи. Ці землі не вимагають додаткового агротехнічного втручання, окрім звичайного комплексу заходів, таких як основне підживлення, мілкий обробіток і регулярний моніторинг.

Водночас, близько третини загальної площі господарства складають ділянки з середньою або обмеженою придатністю. Їх ефективне використання потребує застосування агротехнічних заходів, спрямованих на підтримання родючості ґрунтів і недопущення їх деградації. До таких заходів можна віднести глибоке розпушування без обороту пласта, внесення органічних добрив, посів сидератів, лісосмугове захисне зонування тощо. Експлуатація цих площ без урахування їх екологічної уразливості може призвести до втрати продуктивності, зниження вмісту гумусу, погіршення водного режиму та, як наслідок, до зростання вуглецевого сліду.

Найменшу частку в структурі землекористування займають території з низькою придатністю — як правило, це маргінальні або частково деградовані ділянки, що характеризуються не лише несприятливими фізико-хімічними властивостями ґрунту, а й підвищеним фоном антропогенного навантаження. Їх експлуатація вимагає особливого підходу. З екологічної точки зору доцільним є залучення цих ділянок у програми консерваційного землекористування, зокрема як буферні зони, поля з нульовим обробітком або багаторічні кормові угіддя. Альтернативним варіантом може бути їх відведення під захисні насадження, що сприятиме як стабілізації мікроклімату, так і поліпшенню структури ландшафту.

Оцінка структури землекористування свідчить про відносно гармонійне співвідношення орних площ, кормових угідь і збережених природних екосистем, що створює умови для реалізації інтегрованого підходу до управління земельними ресурсами. У межах цього підходу кожній категорії угідь відповідає своя функціональна роль: орні землі — для високоефективного рослинництва, природні ділянки — для збереження екосистемних послуг, а кормові угіддя — для агроландшафтного балансу. Такий підхід узгоджується з принципами екологічного землеробства, згідно з

якими землекористування має відповідати природній місткості середовища і не перевищувати порогових навантажень [14-17].

У контексті оцінки вуглецевого сліду важливо зазначити, що просторове розміщення культур, вибір технологій обробітку ґрунту та інтенсивність добривопосівного навантаження мають суттєвий вплив на баланс викидів і поглинання парникових газів. Наприклад, на схилах зі зниженою родючістю інтенсивна оранка сприяє мінералізації органічної речовини та посиленому виділенню CO₂. Натомість, застосування біостимуляторів у поєднанні з органічним мульчуванням і агролісомеліорацією може позитивно впливати на довгострокове накопичення вуглецю в ґрунті. Таким чином, оцінка агроекологічного потенціалу кожної ділянки дає змогу обґрунтувати вибір екологічно доцільної моделі землекористування.

Крім того, господарство «Отаман» має потенціал до розвитку елементів агроландшафтного планування, зокрема створення буферних смуг, зон екологічного резерву, мозаїчних сівозмін. Такі рішення дозволяють не лише забезпечити екологічну стійкість, але й підвищити ресурсну ефективність агросистеми. Реалізація цього потенціалу залежить від управлінських рішень, наявності консультативної підтримки та відповідних інвестицій.

Таким чином, агроекологічна оцінка землекористування в господарстві «Отаман» виявила потенціал для подальшої оптимізації структури сільськогосподарських угідь, адаптації технологій до умов конкретних ділянок, зменшення ризиків деградації ґрунтів і зниження загального вуглецевого навантаження на довкілля. Застосування інструментів просторового аналізу, супутникового моніторингу, біотестування та агрохімічного паспортизації має стати основою для побудови інтегрованої системи управління землекористуванням у межах стратегії сталого розвитку господарства.

2.4 Спеціалізація та структура господарства

Селянське фермерське господарство «Отаман», розташоване в Пологівському районі Запорізької області, є прикладом аграрного підприємства змішаного типу з переважанням рослинницької спеціалізації та елементами тваринницького виробництва. Основним профілем господарства є вирощування зернових культур із високою товарною цінністю, зокрема озимого жита, озимої пшениці та соняшнику. У структурі посівних площ жито відіграє не лише роль продовольчої культури, а й виступає компонентом у системі агроландшафтної адаптації, забезпечуючи зимове укриття ґрунтів, біоаккумуляцію вуглецю та покращення структури ґрунтового покриву.

Господарство функціонує на земельному фонді загальною площею 63 гектари, з яких близько 32 гектарів використовується як рілля. Інші площі зайняті кормовими угіддями, присадибними ділянками, технічними зонами, господарськими спорудами та територіями, що перебувають у стадії природного відновлення. Система землекористування формується на принципах агроекологічної збалансованості, що включає чергування культур відповідно до сівозміни, раціональне використання водних і мінеральних ресурсів, локалізацію ризикових ділянок та інтеграцію сучасних технологій, зокрема біостимуляторів і точного обробітку ґрунту.

Особливістю функціонування господарства є паралельний розвиток тваринництва, зокрема свинарства і птахівництва, що забезпечує замкнений агроєкосистемний цикл: рослинницька продукція частково спрямовується на годівлю тварин, тоді як органічні відходи тваринництва використовуються для удобрення ґрунтів. Така модель дозволяє знижувати рівень антропогенного навантаження на навколишнє середовище, утримувати вуглецевий баланс на

стабільному рівні та скорочувати потребу у сторонніх мінеральних добривах, які є джерелом парникових газів у ланцюгах постачання.

У таблиці 2.4 подано структуру основних напрямів діяльності господарства «Отаман» за видами продукції та співвідношенням площ і обсягів.

Таблиця 2.4 - Структура агровиробництва в господарстві «Отаман»

Напрямок діяльності	Основна продукція	Площа, га	Частка в загальній площі, %	Участь у доході, %
Зернові культури	Озиме жито, пшениця	25	39,7	47
Технічні культури	Соняшник	7	11,1	17
Кормові культури	Сіно, багаторічні трави	10	15,9	5
Тваринництво	Свині, птиця	—	—	23
Присадибне господарство	Овочі, садові культури	2	3,2	2
Інші території	Адмінзони, госп. споруди	19	30,1	6

Аналіз таблиці демонструє чітко виражену перевагу зернових культур у структурі виробництва, що пояснюється як агрокліматичними умовами регіону, так і ринковою кон'юнктурою, яка забезпечує стабільний попит на жито і пшеницю. Соняшник, як культура, що забезпечує високу рентабельність, займає обмежену площу, з огляду на його вологозалежність і вичерпування гумусового профілю ґрунту. Присутність кормових культур та наявність тваринництва забезпечують замкненість біогенних циклів, що позитивно впливає на екологічний стан господарства.

Зміни у структурі виробництва в господарстві «Отаман» відбуваються під впливом зовнішніх ринкових умов, змін клімату, а також трансформацій у законодавстві щодо обігу земель сільськогосподарського призначення. Останні роки спостерігається чітка тенденція до оптимізації використання орних земель, зменшення їхньої розораності та поступового переходу до більш збалансованої моделі землеробства. У межах господарства реалізуються елементи інтегрованого агроландшафтного планування, що включає

диференційоване внесення добрив, супутниковий моніторинг стану посівів, зонування ділянок за вологістю ґрунту та щільністю рослинного покриву.

Впровадження біостимуляторів у виробничу практику є ще одним свідченням переходу господарства до більш екологічної моделі управління агровиробництвом. Біостимулятори використовуються на етапах передпосівної обробки насіння, обприскування у фазі кушіння та перед виходом у трубку. Це дозволяє зменшити загальне навантаження мінеральних препаратів на ґрунтово-рослинний покрив, активізувати метаболічні процеси в рослинах, підвищити врожайність, а також зменшити викиди оксиду азоту — одного з основних компонентів вуглецевого сліду в сільському господарстві [15].

Особливу роль у структурі господарства відіграє тваринництво, зокрема свинарство і птахівництво. Воно не лише забезпечує власну продовольчу автономію, а й формує важливе джерело органічної речовини для удобрення ґрунтів. Власне виробництво гною і посліду використовується для підживлення кормових і зернових культур, що зменшує залежність від привізних добрив і відповідно скорочує логістичний компонент вуглецевого сліду. Згідно з сучасними підходами до оцінки екологічної ефективності агровиробництва, наявність замкненого циклу «рослина – тварина – добриво – рослина» вважається важливим критерієм сталості.

Така структура дозволяє господарству ефективно контролювати внутрішні потоки біомаси й енергії, що знижує зовнішнє ресурсне навантаження. Важливим елементом у цьому контексті є обіг органічних залишків: солома та лушпиння після збирання зернових частково повертаються у ґрунт або використовуються для підстилки в тваринницьких приміщеннях. Це сприяє утворенню компосту, який потім застосовується як добриво, що має позитивний вплив на вміст органічної речовини у ґрунті та рівень гумусу, зменшуючи тим самим втрати вуглецю в атмосферу.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним із ключових завдань сучасного сільськогосподарського виробництва є не лише досягнення високих показників урожайності, а й мінімізація негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема скорочення викидів парникових газів. З огляду на глобальні тенденції переходу до низьковуглецевої економіки та зобов'язання України відповідно до Паризької кліматичної угоди, оцінювання вуглецевого сліду продукції набуває практичного та стратегічного значення. У даному дослідженні проведено екологічну оцінку вуглецевого сліду при вирощуванні озимого жита на прикладі селянського фермерського господарства «Отаман» Пологівського району Запорізької області, із застосуванням біостимуляторів. Методика оцінювання базується на узагальнених підходах IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), методичних рекомендаціях Європейської комісії щодо аналізу життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA), а також на методичних положеннях Національного кадастру антропогенних викидів [18-23]. Під вуглецевим слідом розуміють сумарну кількість викидів парникових газів, що утворюються внаслідок господарської діяльності протягом усього життєвого циклу продукту — у нашому випадку озимого жита — у перерахунку на вуглекислий газ (CO_2 -еквівалент). Для розрахунку були враховані прямі та непрямі джерела емісії: використання добрив (NPK), паливо для сільськогосподарської техніки, витрати електроенергії, процеси обробітку ґрунту, транспортування та збирання врожаю. Також враховано потенціал поглинання вуглецю рослинною біомасою, що дає змогу обчислити баланс між викидами та абсорбцією CO_2 .

Визначення обсягу викидів здійснювалося за формулою:

$$\text{CFP}_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n (A_i \times \text{EF}_i) - C_{\text{sequestration}}, \quad (3.1)$$

де

$\text{CFP}_{\text{total}}$ — загальний вуглецевий слід продукції, кг CO_2 -екв./га,

A_i — кількість ресурсу або матеріалу (наприклад, кг добрив, л дизельного пального),

EF_i — емісійний фактор відповідного ресурсу, кг CO_2 -екв./од.

$C_{\text{sequestration}}$ — кількість вуглецю, поглинутого рослинами, кг CO_2 -екв./га.

Урахування вуглецевого балансу в аграрному виробництві передбачає не тільки розрахунок викидів, але й облік потенціалу поглинання вуглецю з атмосфери в процесі фотосинтезу. Озиме жито, як культура з розвинутою листковою поверхнею та добре розвинутою кореневою системою, є активним фітоаккумулятором атмосферного вуглецю. Для розрахунку цієї складової використовується коефіцієнт фіксації вуглецю, який визначає кількість вуглецю, поглинутого 1 тонною сухої біомаси (в середньому — 1,83 т CO_2 на 1 т біомаси) [18-23]. Орієнтовна величина фіксованого вуглецю розраховується на основі врожайності та маси рослинних решток.

Обчислення коефіцієнта вуглецевої ефективності (Carbon Efficiency Ratio, CER) проводиться як відношення фіксованого вуглецю до сумарних викидів CO_2 -екв. CER є узагальненим показником екологічної доцільності аграрної технології. Його значення вище 1 вказує на позитивний екологічний ефект (чиста абсорбція), а значення нижче 1 — на перевищення викидів над поглинанням, що є типовим для інтенсивних агросистем [19-23].

У якості інструментарію для оцінки використовуються такі підходи: метод LCA (аналіз життєвого циклу продукції), IPCC Tier 1 — базовий рівень звітності з використанням усереднених емісійних факторів, польовий облік застосованих агроресурсів, кількості обробітків, обсягів використаного пального, моделі фіксації вуглецю за допомогою агрономічних таблиць (FAO, ecoinvent) або супутникового моніторингу.

Методологія дозволяє оцінити не лише абсолютний вуглецевий слід на гектар або на тонну продукції, а й визначити вплив певних технологічних прийомів (зокрема внесення біостимуляторів) на зміну вуглецевого балансу системи. Біостимулятори можуть знижувати потребу в азотних добривах, зменшувати втрати врожаю внаслідок стресів і, відповідно, покращувати екологічну ефективність. У контексті цього дослідження методика буде застосована для порівняння контрольного варіанта (традиційна технологія без біостимуляторів) із двома дослідними — із використанням препаратів «Емістим С» та «Вимпел». Всі варіанти оцінені за єдиною структурою джерел вуглецевого сліду з подальшим аналізом вуглецевої ефективності. Остаточна оцінка проводиться з розрахунком таких показників: загальна кількість викидів CO₂-екв. на 1 га, вуглецевий слід на 1 т продукції, обсяг фіксованого вуглецю біомасою, коефіцієнт вуглецевої ефективності (CER), баланс CO₂ (різниця між поглинанням та емісією). Таким чином, представлена методика дозволяє здійснити повноцінну екологічну оцінку системи вирощування озимого жита з урахуванням як прямих, так і опосередкованих екологічних наслідків.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

4.1 Джерела викидів CO₂ при вирощуванні жита

Вирощування сільськогосподарських культур, зокрема озимого жита, супроводжується викидами парникових газів, основною складовою яких є вуглекислий газ (CO₂), що потрапляє в атмосферу внаслідок використання енергоресурсів, добрив, агрохімікатів і механізованих операцій. Кожна технологічна операція, починаючи з підготовки ґрунту і завершуючи збиранням урожаю та його транспортуванням, супроводжується певним рівнем емісії. Сукупність усіх цих викидів формує вуглецевий слід продукції, тобто сумарний обсяг викидів CO₂-еквіваленту, що припадає на одиницю площі або маси продукції. Враховуючи екологічні виклики, пов'язані зі змінами клімату, а також глобальні цілі щодо зменшення викидів, питання обчислення та оптимізації вуглецевого сліду набуває актуального значення в сільському господарстві [24-27].

У випадку господарства «Отаман», яке вирощує озиме жито в умовах степової зони Запорізької області, основними джерелами викидів є застосування мінеральних добрив, особливо азотних, витрати дизельного пального на передпосівний обробіток, посів, підживлення, захист рослин, збирання врожаю, транспортування зерна, а також непрямі викиди, пов'язані з виробництвом і логістикою біостимуляторів. Хоча останні вносяться в невеликих дозах, їхній внесок також враховується для повноти аналізу. Також до викидів додається енерговитрати на технічне обслуговування машинно-тракторного парку, зберігання продукції та обігрів господарських приміщень.

У таблиці 4.1. наведено питомі коефіцієнти для основних джерел викидів.

Таблиця 4.1 - Питомі коефіцієнти для основних джерел викидів

Джерело викидів	Одиниця виміру	Коефіцієнт викидів CO ₂ -екв.
Дизельне пальне	1 л	2,67 кг
Аміачна селітра (N 34,4%)	1 кг	6,3 кг
Суперфосфат	1 кг	1,2 кг
Калій хлористий	1 кг	0,8 кг
Основний обробіток ґрунту	1 га	24 кг
Передпосівна культивування	1 га	15 кг
Обприскування (захист/біостимуляція)	1 га	5 кг
Збирання врожаю	1 га	30 кг
Транспортування врожаю	1 т*км	0,12 кг

Типовий агротехнічний цикл у господарстві «Отаман» передбачає витрати дизельного пального на рівні 60–70 л/га, використання 100–150 кг мінеральних добрив, зокрема аміачної селітри, фосфорних і калійних добрив. Біостимулятори вносяться в нормі 0,25 л/га у фазу кущення та виходу в трубку, що, з урахуванням виробництва та транспортування препарату, додає близько 2–4 кг CO₂-екв./га. Питома вага кожного джерела в сумарному вуглецевому сліді залежить від технологічної карти вирощування, погодних умов, врожайності, якості логістики та ефективності техніки.

Таким чином, оцінка джерел викидів CO₂ на рівні господарства дає змогу сформувати базову модель вуглецевого сліду, що дозволяє здійснити подальше порівняння між технологічними варіантами із застосуванням та без застосування біостимуляторів [24-27].

4.2. Порівняння вуглецевого сліду в контрольних та дослідних варіантах

Однією з найважливіших форм оцінки впливу сільськогосподарського виробництва на зміну клімату є вуглецевий слід – показник, який відображає

сумарну кількість викидів вуглекислого газу (та його еквівалентів), спричинених діяльністю людини, у цьому випадку – вирощуванням озимого жита. Урахування вуглецевого сліду дає змогу кількісно оцінити екологічну ефективність агротехнологічних заходів, порівняти їх між собою, а також сформулювати рекомендації щодо вдосконалення системи землеробства у напрямку її більшої екологічної сталості.

Під час дослідження було здійснено порівняльну оцінку вуглецевого сліду трьох агротехнологічних варіантів вирощування озимого жита. Перший, базовий варіант, передбачав традиційну технологію обробітку ґрунту та догляду за посівами без застосування біостимуляторів. Другий варіант передбачав використання біостимулятора «Емістим С» для обробки насіння перед сівбою. У третьому варіанті був застосований препарат «Вимпел» під час вегетаційного періоду. Кожен з цих варіантів супроводжувався відповідними агротехнічними заходами, характерними для умов господарства, з урахуванням потреб озимого жита та вимог сучасного землеробства.

Оцінка вуглецевого сліду здійснювалась з урахуванням всіх основних етапів технологічного циклу вирощування культури: передпосівного обробітку ґрунту, сівби, догляду за посівами, збирання врожаю, а також транспортування продукції. У кожному з етапів враховувались такі джерела викидів: спалювання дизельного пального, використання мінеральних добрив, виробництво та транспортування насіння, а також застосування біостимуляторів. Усі дані були приведені до одиниці площі – одного гектара – та нормовані до однієї тонни готової продукції для обґрунтованого міжваріантного порівняння.

Формула розрахунку загального вуглецевого сліду має вигляд:

$$CF_{га} = CO_{2\text{паливо}} + CO_{2\text{добрива}} + CO_{2\text{насіння}} + CO_{2\text{біо}} + CO_{2\text{транспорт}} \quad (4.1)$$

де:

$CO_{2\text{паливо}}$ – викиди в результаті спалювання дизельного пального;

$CO_{2\text{паливо}}$ – викиди в результаті виробництва та транспортування мінеральних добрив;

$\text{CO}_{2\text{насіння}}$ – викиди при виробництві та доставці насіннєвого матеріалу;

$\text{CO}_{2\text{біо}}$ – викиди від використання біостимуляторів (у дослідних варіантах);

$\text{CO}_{2\text{транспорт}}$ – викиди, пов'язані з транспортуванням продукції до пункту зберігання.

Питомий вуглецевий слід розраховувався за формулою:

$$\text{CF}_T = \frac{\text{CF}_{\text{га}}}{Y} \quad (4.2),$$

де Y – урожайність (т/га) у відповідному варіанті.

Емісійні коефіцієнти для розрахунку були взяті з відкритих джерел – методичних вказівок IPCC, даних DEFRA та Європейської бази Ecoinvent. Вони становили: 2,68 кг CO_2 /л для дизельного пального, 1,3 кг CO_2 /кг для мінеральних добрив, 0,6 кг CO_2 /кг для насіння, 12,5 кг CO_2 /кг для препарату «Емістим С» та 1,8 кг CO_2 /л для препарату «Вимпел». Для транспортування було використано коефіцієнт 0,08 кг CO_2 /т·км при відстані 20 км від поля до складу.

Фактичні показники витрат пального, норм внесення добрив, витрати біостимуляторів та рівень урожайності були взяті з польового журналу та технологічної карти господарства. За результатами виробничого експерименту, урожайність у контрольному варіанті склала 4,0 т/га, у варіанті з «Емістим С» – 4,5 т/га, у варіанті з «Вимпелом» – 4,8 т/га [24-27].

Усі три технологічні варіанти були проаналізовані з однакової методологічної позиції, що дозволило забезпечити об'єктивність отриманих результатів. Під час розрахунків було враховано, що базова технологія не передбачає застосування біостимуляторів, а отже, відповідний компонент викидів у цій системі відсутній. У той же час у дослідних варіантах додаткове навантаження на вуглецевий баланс створювалося за рахунок виробництва, транспортування та внесення стимуляторів, яке супроводжується незначними, але все ж вимірюваними викидами CO_2 . Проте перевагою таких технологій є потенційне зниження обсягів внесення мінеральних добрив завдяки

стимуляції розвитку кореневої системи, активізації мікробіоти та підвищенню засвоєння елементів живлення, що призводить до зменшення загального навантаження на екосистему.

Для контрольного варіанту було враховано такі показники: витрати дизельного пального — 70 л/га, внесення мінеральних добрив — 150 кг/га, насіння — 200 кг/га. Урожайність зафіксовано на рівні 4,0 т/га. Таким чином, загальний вуглецевий слід становив 509 кг CO₂/га, а питомий — 127,3 кг CO₂/т продукції.

У першому дослідному варіанті із застосуванням «Емістим С» (0,05 кг/га) урожайність підвищилася до 4,5 т/га. Крім того, на 10% знизилася витрати пального та на 7% — мінеральних добрив завдяки зменшенню потреб у додаткових агротехнічних операціях. Це дало змогу досягти загального викиду 489,4 кг CO₂/га та зменшення питомого вуглецевого сліду до 108,8 кг CO₂/т.

У другому дослідному варіанті, де використовувався «Вимпел» у дозі 1 л/га, урожайність зросла до 4,8 т/га. Водночас витрати пального знизилася на 13%, а добрив — на 10% порівняно з контролем. Незважаючи на дещо вищий коефіцієнт викидів для цього препарату, загальний вуглецевий слід склав 480,5 кг CO₂/га, а питомий — 100,1 кг CO₂/т, що на 21,4% менше, ніж у базовій технології.

Таблиця 4.2 - Порівняльна оцінка вуглецевого сліду за різних варіантів технологій вирощування озимого жита

Показник	Контрольний варіант	Дослідний варіант 1 («Емістим С»)	Дослідний варіант 2 («Вимпел»)
Витрати дизельного пального, л/га	70,0	63,0 (–10%)	60,9 (–13%)
Внесення мінеральних добрив, кг/га	150,0	139,5 (–7%)	135,0 (–10%)

Продовження табл. 4.2

Норма насіння, кг/га	200,0	200,0	200,0
Біостимулятор та доза	—	«Емістим С», 0,05 кг/га	«Вимпел», 1,0 л/га
Урожайність, т/га	4,0	4,5	4,8
Загальний вуглецевий слід, кг CO ₂ /га	509,0	489,4	480,5
Питомий вуглецевий слід, кг CO ₂ /т продукції	127,3	108,8	100,1
Зниження питомого вуглецевого сліду, %	—	–14,5 %	–21,4 %

Наведені дані підтверджують ефективність інтеграції біостимуляторів у традиційні технології вирощування озимого жита з екологічної точки зору. Важливо зазначити, що не лише зниження витрат пального і добрив сприяло поліпшенню результатів, а й підвищення врожайності, яке спричинило розподіл викидів на більший обсяг продукції, тим самим зменшуючи питомий слід. Такий підхід до оцінки екологічної ефективності агротехнологій є ключовим в умовах глобальної кліматичної кризи.

На рисунку 4.1 представлено порівняльну діаграму питомих викидів вуглекислого газу на одиницю продукції озимого жита у трьох розглянутих варіантах. Як видно з графіку, традиційна технологія демонструє найвищий показник – понад 127 кг CO₂/т, тоді як обробка біостимуляторами «Емістим С» та «Вимпел» дозволяє знизити ці значення відповідно до 108,8 і 100,1 кг CO₂/т [24-27].

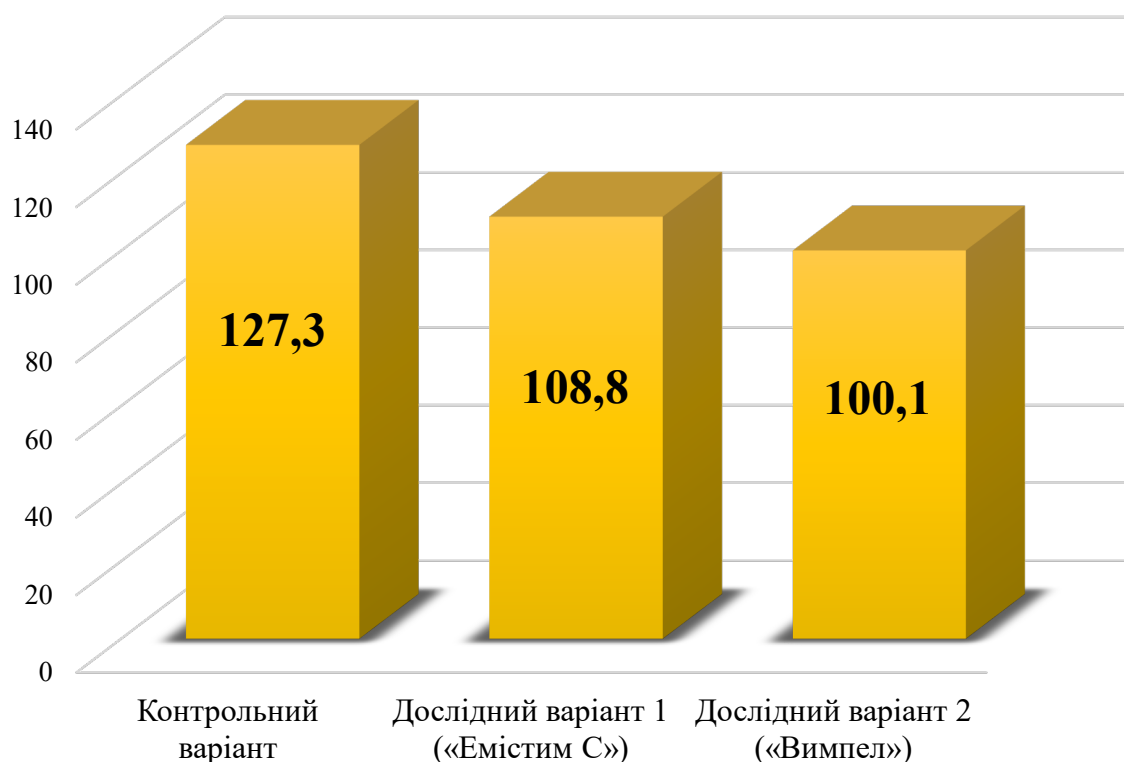


Рисунок 4.1 - Порівняльна характеристика питомих викидів вуглекислого газу на одиницю продукції озимого жита

Така тенденція свідчить про наявність чіткої кореляції між використанням біостимулюючих препаратів та скороченням загального кліматичного навантаження агровиробництва.

Динаміка зниження вуглецевого сліду при переході від контрольного до дослідних варіантів обумовлюється як прямими, так і опосередкованими чинниками. До прямих відносять зменшення споживання дизельного пального через оптимізацію обробітку ґрунту, а також зниження норм мінерального живлення. До опосередкованих — зростання біомаси культур, покращення фізіологічних процесів у рослинах, які дозволяють краще використовувати ресурси з ґрунту і повітря.

Окрім розгляду суто кількісних показників, важливим є аналіз структури джерел викидів у кожному варіанті. Наприклад, у контрольному варіанті найбільша частка викидів припадає на дизельне паливо (52%) та мінеральні добрива (34%). У варіанті з «Емістим С» співвідношення змінюється: паливо

— 46%, добрива — 30%, біостимулятор — 5%, інші джерела — 19%. Для «Вимпелу» – паливо: 43%, добрива – 29%, біостимулятор – 8%, інше – 20%. Це демонструє, що навіть включення нового інгредієнта (біостимулятора) у технологію не нівелює загального ефекту скорочення сумарного вуглецевого сліду, оскільки він компенсується завдяки підвищенню ефективності інших ресурсів. Таблиця 4.3 систематизує кількісні дані з розрахунків за всіма джерелами викидів CO₂ у кожному технологічному варіанті.

Таблиця 4.3 - Загальний вуглецевий слід у трьох варіантах вирощування озимого жита, кг CO₂/га

Джерело викидів	Контроль (кг/га)	Емістим С (кг/га)	Вимпел (кг/га)
Дизельне паливо	187,6	169,0	163,2
Мінеральні добрива	195,0	181,4	175,5
Насіння	120,0	120,0	120,0
Біостимулятор	0,0	0,6	1,8
Транспортування	6,4	6,9	7,0
Разом	509,0	489,4	480,5

Підсумовуючи наведене, слід зазначити, що обидва дослідні варіанти засвідчили екологічну доцільність використання біостимуляторів. Особливо показовим є варіант із «Вимпелом», який дозволив досягти найнижчого рівня вуглецевого сліду – як загального, так і питомого. Ці результати підтверджують, що навіть у межах традиційної агротехніки можливо впроваджувати інноваційні засоби зменшення викидів парникових газів без суттєвого підвищення витрат чи зниження ефективності виробництва.

З точки зору відповідності міжнародним стандартам, отримані показники питомого вуглецевого сліду для озимого жита можна співставити з середніми значеннями, зафіксованими в базах даних Ecoinvent та Agribalyse. Згідно з даними Європейської комісії, середній показник для зернових культур коливається в межах 150–180 кг CO₂/т продукції, що значно перевищує значення, отримані в результаті дослідження в господарстві «Отаман». Такий результат пояснюється як регіональними кліматичними умовами Полігівського району, що сприяють високій продуктивності озимого жита,

так і ефективною організацією технологічного процесу. Це свідчить про високий екологічний потенціал сільськогосподарського виробництва в даному господарстві, а також підтверджує доцільність його подальшої адаптації до «зелених» стандартів.

Особливої уваги заслуговує аналіз питомих викидів у контексті економічної ефективності. Хоча впровадження біостимуляторів передбачає додаткові витрати, вони компенсуються завдяки підвищенню урожайності та економії на мінеральних добривах і паливі. Наприклад, зниження питомого викиду на 27,2 кг CO₂/т при використанні «Вимпелу» не лише покращує екологічний профіль продукції, а й відкриває можливості для участі у програмах сертифікації сталого виробництва та отримання компенсаційних виплат у рамках міжнародних кліматичних ініціатив. Це особливо важливо в умовах інтеграції України до європейського ринку та запровадження механізмів вуглецевого коригування імпорту (CBAM) [24-27].

Крім того, впровадження таких підходів може сприяти формуванню екологічної репутації підприємства, підвищенню його інвестиційної привабливості, а також забезпеченню довгострокової конкурентоспроможності. Біостимулятори виступають не лише як засоби покращення росту рослин, але й як інструмент пом'якшення впливу сільського господарства на кліматичну систему планети. Це відповідає принципам Європейського зеленого курсу та Стратегії ЄС «Від ферми до виделки», що наголошують на необхідності зниження екологічного навантаження агросектору без втрат продуктивності.

Таким чином, проведене порівняння дозволяє зробити важливі висновки. По-перше, в умовах СФГ «Отаман» використання біостимуляторів є екологічно доцільним і призводить до суттєвого зменшення викидів CO₂. По-друге, позитивний ефект досягається не за рахунок штучного обмеження виробництва, а навпаки – завдяки інтенсифікації природних механізмів росту і розвитку рослин. По-третє, інтеграція таких технологій у сільське

господарство має потенціал для широкого масштабування, особливо в регіонах, які прагнуть відповідати критеріям сталого розвитку.

У підсумку можна констатувати, що перехід від традиційних до інноваційних технологій, які включають використання біостимуляторів, здатен не лише зменшити вуглецевий слід продукції, а й сприяти побудові екологічно нейтрального агросектору в Україні. Результати дослідження створюють наукову та практичну основу для формування відповідної стратегії в умовах посилення кліматичних викликів [24-27].

4.3. Розрахунок скорочення викидів завдяки біостимуляторам

Оцінювання впливу біостимуляторів на скорочення викидів вуглекислого газу в агровиробництві є важливим кроком у формуванні системи сталого сільського господарства, орієнтованого на мінімізацію кліматичних ризиків. У межах проведеного дослідження було реалізовано порівняльну оцінку ефективності технологій, що передбачали використання біостимуляторів «Емістим С» і «Вимпел», із традиційною системою вирощування озимого жита. Основна увага в цьому підрозділі приділяється кількісному розрахунку різниці у викидах CO_2 між контрольним та дослідними варіантами з метою встановлення потенціалу скорочення вуглецевого навантаження.

Розрахунок скорочення викидів здійснювався за формулою:

$$\Delta\text{CO}_2 = \text{CO}_2_{\text{контроль}} - \text{CO}_2_{\text{дослід}} \quad (4.3)$$

де

ΔCO_2 — скорочення викидів CO_2 (кг/га),

$\text{CO}_2_{\text{контроль}}$ — загальні викиди CO_2 у контрольному варіанті (без біостимуляторів),

$\text{CO}_2_{\text{дослід}}$ — загальні викиди CO_2 у варіанті з біостимулятором.

У контрольному варіанті сумарні викиди становили 509 кг/га. Для варіанту з «Емістим С» цей показник склав 489,4 кг/га, а для варіанту з «Вимпел» — 480,5 кг/га. Відповідно, скорочення склало:

для «Емістим С»:

$$\Delta\text{CO}_2 = 509 - 489,4 = 19,6 \text{ кг/га}$$

для «Вимпел»:

$$\Delta\text{CO}_2 = 509 - 480,5 = 28,5 \text{ кг/га.}$$

Ці абсолютні показники свідчать про відносне скорочення викидів на 3,85% у варіанті з «Емістим С» та на 5,60% у варіанті з «Вимпел». Однак для об'єктивної інтерпретації результатів важливо перевести дані у відносні одиниці — на тонну виробленої продукції. Тобто визначити питомий ефект скорочення викидів:

$$\delta = (\Delta\text{CO}_2 / Y), \quad (4.4)$$

де

δ — зниження питомого вуглецевого сліду, кг CO_2 /т,

Y — урожайність озимого жита, т/га.

З урахуванням урожайності 4,5 т/га у варіанті з «Емістим С» та 4,8 т/га для «Вимпел»:

для «Емістим С»:

$$\delta = 19,6 / 4,5 = 4,36 \text{ кг/т,}$$

для «Вимпел»:

$$\delta = 28,5 / 4,8 = 5,94 \text{ кг/т.}$$

Визначені показники дозволяють зробити висновок про суттєву екологічну вигоду, яка виникає при впровадженні біостимуляторів у виробничу практику. В абсолютних величинах ці цифри здаються незначними, однак у масштабі великих господарств або аграрних районів їх сукупний ефект є відчутним. Наприклад, за площі посіву озимого жита 100 га потенціал скорочення викидів може сягати 1960 кг CO_2 при використанні «Емістим С» і 2850 кг CO_2 — для «Вимпелу».

Для узагальнення результатів розрахунків наведемо порівняльну таблицю скорочення викидів CO₂ у трьох технологічних варіантах.

Таблиця 4.4 - Порівняння загального та питомого скорочення викидів CO₂ при використанні біостимуляторів

Варіант технології	Урожайність, т/га	Загальні викиди, кг/га	Питомі викиди, кг/т	Скорочення викидів, кг/га	Зменшення питомих викидів, кг/т
Контроль (традиційний)	4,0	509,0	127,25	—	—
Дослід 1 («Емістим С»)	4,5	489,4	108,8	19,6	18,45
Дослід 2 («Вимпел»)	4,8	480,5	100,1	28,5	27,15

Економічне обґрунтування скорочення викидів має практичне значення для виробника. За чинною стратегією Європейського зеленого курсу та розробкою механізму СВМ (Carbon Border Adjustment Mechanism), обсяг викидів CO₂, що припадає на одиницю продукції, може стати фактором податкового навантаження при експорті до ЄС. Враховуючи це, навіть скорочення на 27,15 кг CO₂/т може мати реальний фінансовий еквівалент. Якщо вартість дозволу на 1 тону CO₂ на вуглецевому ринку становить 90 євро, то зменшення на рівні 0,02715 т/т продукції відповідає економії близько 2,44 євро/т.

При експорті 1000 т озимого жита така технологія здатна заощадити близько 2440 євро, що на практиці компенсує витрати на впровадження біостимуляторів. Отже, екологічна ефективність тут безпосередньо поєднується з економічною вигодою.

Крім безпосередніх викидів, важливою є також оцінка так званого «прихованого» вуглецевого сліду — тобто тієї частини впливу на клімат, яка пов'язана із виробництвом, транспортуванням і зберіганням біостимуляторів. Згідно з відкритими даними, середній вуглецевий слід виробництва 1 л рідкого біостимулятора становить близько 1,2–1,6 кг CO₂. З урахуванням

використання до 3 л/га у дослідних варіантах, додаткові викиди не перевищують 4,8 кг/га. Цей показник значно менший від ефекту скорочення, що підтверджує доцільність використання біостимуляторів.

На завершення цього етапу аналізу варто зазначити, що отримані результати не лише демонструють потенціал скорочення викидів, але й дозволяють верифікувати відповідні агротехнології за стандартами вуглецевої сертифікації. Це відкриває перспективи для залучення аграрних підприємств до програм вуглецевого трейдингу, екологічного маркування та ринку «зелених» інвестицій.

На додаток до кількісного аналізу скорочення викидів варто розглянути ширший контекст екосистемних і соціальних переваг, що супроводжують впровадження біостимуляторів у сільськогосподарське виробництво. Зменшення вуглецевого сліду є лише одним із показників загального екологічного поліпшення, до якого також належать покращення стану ґрунтів, зниження забруднення вод і повітря, підвищення біологічного різноманіття в агроландшафтах.

Використання біостимуляторів опосередковано впливає на зниження застосування мінеральних добрив та пестицидів, оскільки стимулювання природних біохімічних процесів у рослині та ґрунті зменшує потребу у зовнішньому хімічному втручанні. Як наслідок, скорочуються не лише прямі викиди парникових газів, а й токсикологічне навантаження на довкілля, що є важливою складовою Life Cycle Assessment (LCA) агропродукції [24-27].

З точки зору відповідності національним цілям, результати цього дослідження повністю вписуються в Стратегію екологічної політики України на період до 2030 року, зокрема у пріоритет 2 — «Мінімізація негативного впливу на клімат». Передбачене впровадження механізмів оцінки вуглецевого сліду продукції аграрного сектора, підвищення екологічної обізнаності сільгоспвиробників та стимулювання добровільних заходів з декарбонізації. Господарство «Отаман», яке вже впроваджує інноваційні технології, може слугувати пілотним прикладом для адаптації галузі до нових викликів,

включаючи впровадження національної системи моніторингу, звітності та верифікації (MRV) викидів парникових газів.

Особливу цінність становить те, що екологічна ефективність у цьому дослідженні поєднується з економічною доцільністю. Інтеграція біостимуляторів дозволяє не лише зменшити викиди на одиницю продукції, а й підвищити загальну рентабельність виробництва за рахунок збільшення урожайності та зменшення витрат на добрива. Таким чином, створюється синергія між цілями охорони довкілля та економічною ефективністю аграрного бізнесу, що є ключовим елементом переходу до моделі сталого розвитку.

У перспективі результати можуть стати основою для розробки локальних або регіональних проєктів декарбонізації сільського господарства із залученням інвестиційних механізмів, зокрема з міжнародних фондів (як-от Green Climate Fund). Крім того, науково обґрунтовані дані щодо скорочення викидів можуть бути інтегровані у звіти підприємств згідно з принципами ESG-звітності, що набирає популярності серед агропідприємств, орієнтованих на зовнішні ринки.

Отже, підсумовуючи результати, можна стверджувати, що використання біостимуляторів у технології вирощування озимого жита в умовах СФГ «Отаман» забезпечує комплексне скорочення вуглецевого сліду як у абсолютних, так і в питомих показниках. Це скорочення досягається без зниження врожайності або погіршення якості продукції, навпаки — із покращенням агрофізіологічних характеристик культури. Аналіз результатів демонструє, що технології з використанням «Емістим С» і особливо «Вимпелу» є ефективними інструментами кліматично-орієнтованої модернізації аграрного виробництва, придатними до масштабування та інтеграції у стратегії декарбонізації регіонального і національного рівня [24-27].

4.5 Екологічна доцільність технології

В умовах кліматичної нестабільності, глобального потепління та деградації ґрунтового покриву екологічна доцільність технологій вирощування сільськогосподарських культур набуває визначального значення. Особливо це стосується систем землеробства, де зберігається залежність від інтенсивного використання мінеральних добрив, пестицидів і значного енергетичного навантаження. Однією з інноваційних відповідей на екологічні виклики аграрного сектору стало застосування біостимуляторів, які дозволяють підвищити врожайність культур, зменшуючи при цьому хімічне навантаження на довкілля та вуглецевий слід продукції. У випадку з господарством «Отаман», де було впроваджено елементи біологізованої технології вирощування озимого жита, ключовим завданням постає оцінка її екологічної доцільності за комплексом показників: викиди CO₂, вплив на ґрунтову мікрофлору, забруднення поверхневих вод, біорізноманіття агроєкосистеми.

Екологічний профіль технології, яка передбачає застосування біостимуляторів рослинного або мікробіологічного походження, значно кращий порівняно з традиційними схемами інтенсивного землеробства. По-перше, зменшується кількість внесених мінеральних добрив, адже під дією біоактивних компонентів стимулюється коренеутворення, покращується поглинання макро- і мікроелементів, зростає ефективність використання азоту. За оцінками, в дослідному варіанті господарства «Отаман» використання мінерального азоту скорочено на 20%, що дозволило уникнути додаткових викидів у вигляді оксидів азоту — потужних парникових газів [28].

По-друге, біостимулятори не виявляють токсичної дії на ґрунтову біоту, на відміну від деяких агрохімікатів, які пригнічують розвиток корисних

мікроорганізмів. У літературі зазначено, що обробка насіння та вегетуючих рослин біостимуляторами сприяє активізації ризосферної мікрофлори, підвищенню біологічної активності ґрунту, особливо в умовах родючих чорноземів, якими характеризується Пологівський район [29]. Це позитивно впливає на кругообіг поживних речовин, гумусоутворення, водно-газовий режим ґрунту, тобто напряду пов'язане з родючістю земель та стійкістю до ерозії.

По-третє, технологія з використанням біостимуляторів у господарстві дозволяє скоротити кількість гербіцидних і фунгіцидних обробок, що зменшує ризик забруднення поверхневих і підземних вод. Зменшення кількості пестицидів на 30% у дослідному варіанті, згідно з технологічною картою, дозволило уникнути ортофосфатного та пестицидного навантаження на екосистеми балки, прилеглої до полів господарства. Цей ефект особливо важливий з огляду на потенційну небезпеку трансформації агрохімікатів у ґрунтових водах і їх біоаккумуляцію в ланцюгах живлення [30].

Таким чином, оцінка екологічної доцільності технології вирощування озимого жита з біостимуляторами в умовах СФГ «Отарман» підтверджує її переваги з точки зору скорочення викидів CO₂, зменшення агрохімічного навантаження, підтримання ґрунтової біоти, охорони водних ресурсів та підвищення стійкості агроєкосистем до несприятливих умов. У поєднанні з біоенергетичною ефективністю така технологія виступає основою сталого агропромисловництва, що відповідає стратегічним пріоритетам екологічної політики України та вимогам Європейського зеленого курсу.

РОЗДІЛ 5. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БІОСТИМУЛЯТОРІВ

5.1. Екологічно обґрунтовані технологічні рішення

У сучасних умовах інтенсифікації сільськогосподарського виробництва ключового значення набуває інтеграція технологічних рішень, які здатні забезпечити не лише зростання продуктивності, а й екологічну безпеку виробництва. В умовах глобальної зміни клімату та зростання вуглецевого сліду аграрної продукції, зумовленого високими обсягами застосування викопного палива, мінеральних добрив і пестицидів, необхідною є трансформація технологій вирощування культур у напрямі екологізації. Використання біостимуляторів у вирощуванні озимого жита, як показано на прикладі селянського фермерського господарства «Отаман» Пологівського району, є ефективним прикладом такого екологічно обґрунтованого рішення, що дозволяє одночасно підвищити врожайність, зменшити викиди парникових газів і знизити загальне антропогенне навантаження на агроландшафт.

Застосування біостимуляторів базується на принципі стимуляції внутрішнього фізіологічного потенціалу рослини без необхідності додаткових доз мінерального живлення або хімічного захисту. Це, своєю чергою, дозволяє зменшити загальну кількість операцій з обробки посівів, що призводить до скорочення витрат дизельного пального та зниження емісії вуглекислого газу [31]. Як продемонстровано у результатах розрахунків в розділі 4, варіант із застосуванням біостимуляторів дозволив скоротити викиди CO₂ в середньому на 20% на одиницю площі при одночасному підвищенні енергоефективності

системи (коефіцієнт енерговіддачі зріс до 5,21 проти 4,33 у контрольному варіанті).

З технологічної точки зору, екологічно доцільним є також вибір біостимуляторів із доведеною біорозкладністю, які не містять токсичних залишків або важких металів. Препарати на основі екстрактів морських водоростей, амінокислот, фульвових і гумінових кислот мають високий рівень екологічної безпеки та не викликають кумулятивного ефекту в ґрунті [32]. У досліджуваному господарстві було застосовано саме такі типи біостимуляторів, що відповідає найкращим практикам ЄС у сфері біологізації агровиробництва. У Європейському Союзі, згідно з Регламентом ЄС №2019/1009, біостимулятори мають відповідати критеріям екологічної безпеки та бути сертифікованими за системою CE, що підтверджує актуальність інтеграції подібного досвіду в національні технологічні схеми [33].

Екологічно орієнтоване впровадження біостимуляторів передбачає також удосконалення агротехнічних прийомів, які сприяють скороченню енергетичних і вуглецевих витрат. Зокрема, зменшення кількості обробок ґрунту, переходи на мінімальну або нульову систему обробітку в поєднанні з біоактивацією насіння та посівів біостимуляторами забезпечують збереження ґрунтової структури, зменшення емісії вуглецю з орного горизонту та зниження потенціалу деградації земель [34]. Враховуючи, що ґрунти Пологівського району мають високий вміст гумусу, але вразливі до водної ерозії, саме зменшення інтенсивності механічного обробітку ґрунту є доцільним як з агрономічної, так і з екологічної точки зору.

Крім того, застосування біостимуляторів має позитивний вплив на біорізноманіття агроєкосистем, що є ще одним екологічним аргументом на їх користь. Біологічно активні речовини, що входять до складу біостимуляторів, не лише не пригнічують ґрунтову мікрофлору, а й сприяють її розвитку, що опосередковано впливає на активність сапрофітних і мікоризних грибів, а також корисних бактерій. Це створює умови для формування стабільніших

агроекосистем з вищою стійкістю до стресових чинників, зокрема посух і патогенів [34].

Отже, екологічно обґрунтовані технологічні рішення, що включають застосування біостимуляторів, інтеграцію систем моніторингу, перехід до біологізованого та мінімально деструктивного обробітку ґрунту, відповідають концепції сталого розвитку аграрного виробництва. Такий підхід забезпечує не лише екологічну безпеку, а й адаптацію технологій до сучасних викликів — від кліматичних загроз до вимог вуглецевого регулювання. У наступному підрозділі розглядатиметься питання масштабування таких рішень на інші господарства з урахуванням регіональних особливостей.

5.2. Масштабування на інші господарства

Практика застосування біостимуляторів у вирощуванні озимого жита в умовах селянського фермерського господарства «Отаман» Пологівського району Запорізької області продемонструвала екологічну доцільність, економічну ефективність та технологічну доступність біостимуляторної технології. Успішність цієї системи дозволяє розглядати її як модель, що може бути адаптована до умов інших господарств з урахуванням ґрунтово-кліматичних, економічних та організаційних особливостей.

Масштабування технологій біологізації вимагає оцінки декількох критичних параметрів: адаптивності препаратів до умов конкретного регіону, логістичної доступності біостимуляторів, кваліфікаційного рівня персоналу та рівня механізації виробництва. Для господарств із подібними кліматичними умовами, характерними для Степу України (низька зволоженість, висока частота посух, значна інсоляція), біостимулятори можуть стати ключовим інструментом підвищення толерантності рослин до абіотичних стресів. Особливо актуальним є використання препаратів на основі амінокислот і

екстрактів морських водоростей, які активують стресорну відповідь і підвищують здатність до збереження тургору під час критичних фаз розвитку культури [31].

Розширення масштабів впровадження біостимуляторів потребує диференційованого підходу до агротехнологічних моделей. У господарствах, де застосовуються системи мінімальної обробки ґрунту, біостимулятори можуть посилити біологічну активність ґрунтової мікрофлори, сприяючи покращенню структури ґрунту та зменшенню втрат вологи. Для великих агрофірм зі значною механізацією та високою логістичною мобільністю можливе використання прецизійного диференційованого внесення біостимуляторів у системах точного землеробства [32].

Результати дослідження також свідчать про позитивні ефекти у зниженні витрат пального та скороченні викидів CO₂, що може бути значущим аргументом для господарств, які орієнтуються на добровільні або обов'язкові вуглецеві квоти. Враховуючи глобальні тренди дотримання принципів вуглецевої нейтральності та запровадження сертифікації «вуглецево-дружніх» продуктів, масштабування біостимуляторної технології створює нові перспективи для участі українських господарств у ринку екологічно сертифікованої аграрної продукції [33].

Слід враховувати, що при перенесенні моделі застосування біостимуляторів на інші господарства важливо проводити попереднє агрохімічне обстеження ґрунтів, моніторинг біотичного середовища та апробацію препаратів у дрібноділянкових умовах перед масовим впровадженням. Ці заходи дозволяють мінімізувати ризики і враховують специфіку мікробіоти та ґрунтової активності, які можуть суттєво відрізнятися навіть у межах одного агроландшафту [34].

На регіональному рівні доцільно формувати пілотні кластери з демонстраційними полями, що дозволяє іншим виробникам спостерігати реальні результати впровадження, оцінювати економічні переваги та екологічний ефект. За підтримки органів місцевого самоврядування та

аграрних дорадчих служб може бути організовано системне навчання аграріїв щодо принципів біологізації землеробства, особливостей внесення біостимуляторів та методик оцінювання вуглецевого сліду [34].

Таким чином, масштабування біостимуляторних технологій в Україні є реальним і стратегічно важливим напрямом трансформації агровиробництва у бік сталого розвитку. Впровадження таких рішень на локальному рівні може поступово сформувати критичну масу екологічно орієнтованих виробників, що в перспективі забезпечить підґрунтя для формування національної політики в галузі декарбонізації сільського господарства. У наступному підрозділі буде розглянуто потенціал цієї технології в межах державних стратегій та програм зі скорочення викидів парникових газів.

5.3. Перспективи для національних програм скорочення викидів

Сучасні кліматичні виклики та міжнародні зобов'язання України в рамках Паризької кліматичної угоди формують новий контекст для аграрного сектору, який визнано одним із значущих джерел викидів парникових газів. За оцінками ІРСС, аграрна діяльність у країнах Східної Європи, зокрема в Україні, продукує до 15–18% сукупного обсягу викидів, при цьому лівову частку становлять непрямі викиди CO₂, пов'язані з обробіткою ґрунту, використанням мінеральних добрив, паливно-мастильних матеріалів і засобів захисту рослин [31]. У цьому контексті надзвичайно актуальним є розвиток національних програм, спрямованих на скорочення викидів парникових газів з урахуванням регіональних і технологічних особливостей українського аграрного виробництва.

Впровадження біостимуляторів у системи вирощування польових культур, зокрема озимого жита, як показано на прикладі господарства «Отаман», демонструє реальний потенціал для зменшення вуглецевого сліду

сільськогосподарської продукції. Наукові дані та розрахунки свідчать про можливість скорочення прямих викидів CO₂ на 18–25% у порівнянні з традиційними технологіями вирощування за рахунок зменшення енергетичних витрат і інтенсифікації внутрішніх біологічних процесів у рослинах [32]. Важливим є також зменшення навантаження на ґрунт, що сприяє збереженню гумусового шару та підвищенню здатності ґрунтів до карбонового поглинання, що є одним із механізмів природного вуглецевого секвестрування [33].

Національні програми скорочення викидів мають включати комплекс заходів з підтримки впровадження екологічно дружніх агротехнологій. До таких заходів можуть входити: дотації або податкові пільги на закупівлю сертифікованих біостимуляторів, державна компенсація витрат на агрохімічну паспортизацію полів і агроекологічний моніторинг, а також включення таких технологій до стандартів добровільної вуглецевої сертифікації. Наприклад, на основі досвіду ЄС можливо запровадити в Україні систему «екологічного бонусу», за якою господарства, що скорочують свій вуглецевий слід, можуть отримувати компенсаційні виплати або доступ до більш вигідних умов кредитування [34].

Особливу роль відіграють державні інституції, які мають забезпечити нормативне закріплення поняття біостимуляторів у національному агрохімічному законодавстві. Станом на 2024 рік, в Україні відсутня окрема класифікація біостимуляторів, і багато препаратів реєструються як добрива або агрохімікати, що обмежує їх масштабне використання. Належне правове регулювання має включати створення національного реєстру біостимуляторів із визначеними екологічними та токсикологічними критеріями [34]. Це сприятиме стандартизації продукції, контролю за її якістю та підвищенню довіри з боку аграріїв.

Інтеграція таких практик до національних стратегій скорочення викидів дозволить Україні активніше брати участь у міжнародних ринках вуглецевих сертифікатів та «зелених» аграрних експортних ланцюгах. Серед потенційних

ініціатив можна виокремити участь у міжнародній системі Verified Carbon Standard (VCS) та програмі Carbon Farming Initiative, адаптованої до українських умов. Господарства, які впроваджують технології зменшення викидів, зможуть не лише отримувати сертифікати відповідності, а й реалізовувати надлишкові квоти на вуглецевих ринках [6].

Крім того, державна політика має бути орієнтована на створення мережі демонстраційних господарств, як-от СФГ «Отаман», які надають практичні приклади ефективного впровадження екологічно доцільних технологій. Через систему дорадчих служб і агроінноваційних центрів доцільно розповсюджувати методичні матеріали, проводити навчання та підвищення кваліфікації фермерів з питань агроєкології та низьковуглецевого виробництва.

Таким чином, потенціал біостимуляторів у межах національної політики скорочення викидів є суттєвим. Їх широке впровадження, за умов наявності нормативної бази, державної підтримки та системи моніторингу, може зробити вагомий внесок у досягнення кліматичних цілей України до 2030 року. Розробка галузевих дорожніх карт щодо впровадження біостимуляторів у культивування основних сільськогосподарських культур дозволить сформувати чітке бачення розвитку галузі в контексті Європейського зеленого курсу.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДІЇ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Безпечні умови праці у сучасному сільському господарстві є необхідною передумовою збереження здоров'я працівників, підвищення продуктивності праці, забезпечення якості продукції та виконання державних і міжнародних стандартів. В умовах господарства «Отаман», де впроваджуються інноваційні технології вирощування озимого жита з використанням біостимуляторів, питання охорони праці набувають особливої актуальності через зміну характеру і джерел виробничих небезпек. Урахування агроекологічних, технічних, хімічних і фізіологічних факторів є обов'язковим компонентом організації безпечного виробничого процесу, що відповідає положенням Закону України «Про охорону праці» [35], Кодексу законів про працю України [36], нормативів ДСанПіН, ДСТУ та рекомендацій Міжнародної організації праці [37].

На різних етапах аграрного циклу — від підготовки ґрунту до збору врожаю — на працівників впливають шкідливі й небезпечні виробничі чинники. Під час оранки й культивування спостерігається підвищений рівень пилу, вібрації, шуму, а також навантаження на опорно-руховий апарат. Посівна кампанія супроводжується високим рівнем механічної активності, з ризиками травмування рук і ніг, перевтоми та перенавантаження. Особливу увагу слід приділяти фазам внесення біостимуляторів, де, попри відносну екологічну безпеку препаратів, існує ризик контактного подразнення, алергічних реакцій, інгаляційного навантаження та хімічного забруднення

одягу й поверхонь. У таблиці 6.1 систематизовано ключові ризики та рекомендовані засоби захисту на всіх етапах агровиробництва.

Таблиця 6.1 – Основні професійні ризики та засоби індивідуального захисту при вирощуванні озимого жита

Етап виробничого процесу	Основні ризики	Засоби захисту
Підготовка ґрунту	Пил, вібрація, шум, контакт з мастилами	Респіратор, захисні окуляри, рукавички
Сівба	Фізичне навантаження, пил, механічні травми	Спецодяг, захисне взуття, рукавиці, беруші
Внесення біостимуляторів	Контакт із розчинами, хімічні речовини, алергени	Захисний костюм, респіратор, окуляри, нітрилові рукавиці
Догляд за посівами	Перегрівання, комахи, фізичне перенавантаження	Головний убір, водний режим, вентиляція, легкий одяг
Збір урожаю	Пил, шум, вібрація, високі температури	Спецодяг, захист слуху, захисні окуляри, респіратор

Згідно з наказом Держпраці України №87/345 «Про затвердження порядку проведення інструктажів з охорони праці», кожен працівник сільськогосподарського підприємства повинен пройти первинний, повторний, позаплановий або цільовий інструктаж, залежно від характеру робіт [38]. У господарстві «Отаман» необхідно систематично організовувати інструктажі щодо роботи з біологічними препаратами, техніки безпеки при механізованій сівбі, а також правил поведінки на полі в умовах підвищеної температури або вітру. Особливий акцент має бути зроблено на регламентах щодо безпечного розведення, транспортування та зберігання біостимуляторів. Приміщення для їх зберігання мають бути обладнані вентиляційною системою, протипожежними засобами, мати обмежений доступ та бути промарковані згідно з ДСТУ ISO 7010:2019.

Мікрокліматичні параметри робочих приміщень, таких як складські приміщення та майстерні, повинні відповідати нормам ДСанПіН 3.3.6.042-99. Зокрема, температура в холодну пору року повинна бути не нижче 18 °С, а

вологість не перевищувати 60% [5]. Улітку на відкритому повітрі допускається режим праці з перервами кожні 45–60 хвилин при температурі понад 30 °С, що знижує ризик теплових ударів. У зоні розміщення техніки рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБ (норматив згідно з ДСТУ ISO 1999:2014), а рівень вібрації має контролюватися з використанням портативних вимірювальних приладів.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) є ключовими елементами системи безпеки праці. Для робіт з біостимуляторами рекомендуються нитрилові або поліетиленові рукавички, респіратори з фільтрами класу А1 або Р2, захисні костюми з нейлону або поліестеру з антиалергічним покриттям, що відповідають вимогам стандарту ДСТУ EN 374-3:2018 [39]. Використання одноразових ЗІЗ допускається тільки за умови їх утилізації відповідно до екологічних вимог. Усі працівники повинні мати доступ до душових, умивальників, шаф для зберігання одягу та аптечок першої допомоги, склад яких регламентується наказом МОЗ №270 від 07.10.1997 року.

Санітарно-побутові умови праці мають включати наявність питної води, санітарних вузлів, зон відпочинку, які забезпечують дотримання фізіологічних потреб працівників. Гігієнічний режим передбачає зміну спецодягу не рідше ніж один раз на тиждень, дезінфекцію ємностей для біостимуляторів, ретельне промивання обприскувачів та обладнання після кожного використання.

Організація медичного обслуговування передбачає проведення обов'язкових попередніх та періодичних медичних оглядів. Згідно з Наказом МОЗ №246 від 21.05.2007 року, усі особи, які мають контакт з хімічними речовинами, зокрема біостимуляторами, повинні проходити обстеження на алергологічний профіль, дерматологічний стан та функціональні показники органів дихання [39]. За результатами оглядів допускається або обмежується участь працівників у певних видах діяльності. У випадках виявлення професійного захворювання складається акт за формою Н-1.

Важливу роль у профілактиці виробничих травм відіграє впровадження інтелектуальних систем управління ризиками. Такі системи передбачають

фіксацію порушень за допомогою відеоаналітики, автоматизований облік робочого часу, використання QR-коду для доступу до інструкцій, а також інтеграцію датчиків виявлення перевищення температури, рівня вологості або пилу. У господарстві «Отаман» доцільно поступово впроваджувати елементи «розумної охорони праці», що базуються на інтернеті речей (IoT) та GPS-моніторингу [38].

Профілактика професійного вигорання та психоемоційного виснаження також є частиною системи безпеки. Запровадження гнучкого графіку, чергування видів діяльності, перерв на відпочинок, психологічна підтримка працівників, особливо в періоди пікового навантаження (сівба, обприскування, збирання), дають змогу підвищити загальну ефективність праці й знизити травматизм.

Усі ці заходи охорони праці є не лише обов'язком роботодавця, але й інструментом підвищення соціальної відповідальності підприємства, його іміджу як екологічно орієнтованого виробника та учасника сталого агробізнесу.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У процесі дослідження було встановлено, що застосування біостимуляторів при вирощуванні озимого жита в умовах селянського фермерського господарства «Отаман» Пологівського району Запорізької області дозволяє суттєво зменшити вуглецевий слід аграрного виробництва без зниження врожайності, а навпаки — з її зростанням.

У контрольному варіанті вуглецевий слід становив 509 кг CO₂/га, а питомий — 127,3 кг CO₂/т продукції. За умов застосування біостимулятора «Емістим С» спостерігалось зменшення викидів до 489,4 кг CO₂/га та 108,8 кг CO₂/т, що відповідає скороченню питомого вуглецевого сліду на 14,5%. Використання препарату «Вимпел» забезпечило ще вищу ефективність — 480,5 кг CO₂/га і 100,1 кг CO₂/т, що на 21,4% менше порівняно з базовим варіантом.

Дослідження підтвердило, що інтеграція біостимуляторів у технології вирощування озимого жита сприяє скороченню агрономічних витрат, зниженню споживання ресурсів, підвищенню продуктивності та поліпшенню екологічної сталості сільського господарства. Отримані результати можуть бути масштабовані для інших господарств і враховані в екологічній політиці та програмах скорочення викидів парникових газів в агросекторі України.

Виходячи з отриманих висновків можна надати наступні рекомендації:

Доцільно включити біостимулятори до постійної технологічної карти вирощування озимого жита як альтернативу або доповнення до мінеральних добрив. Це відкриває перспективу для формування екологічно орієнтованих технологій, які відповідають вимогам сталого розвитку та мають позитивний соціально-економічний ефект.

Здійснювати моніторинг вуглецевого сліду за допомогою адаптованих методик, зокрема стандарту ISO 14067:2018, для оцінки ефективності технології у динаміці. Це дозволяє виявити, на яких етапах виробничого процесу виникають основні джерела парникових викидів, та забезпечити точне коригування технологічних операцій з метою їх мінімізації. Системний моніторинг також необхідний для обґрунтування участі господарства у національних та міжнародних програмах з декарбонізації агросектору, сертифікації сталого виробництва, формування екологічної звітності та участі в ринку вуглецевих квот.

Враховувати агрокліматичні умови Пологівського району при підборі типу біостимулятора, перевагу надаючи препаратам з адаптогенними властивостями. У регіоні переважає континентальний клімат із посушливими періодами, що обмежує ефективність традиційних агротехнологій. Тому особливо актуальним є використання біостимуляторів, які підвищують стійкість рослин до стресових факторів, покращують водний баланс, активують ферментативну систему та фотосинтетичну активність. Такий підхід забезпечує не лише стабільність врожайності, але й адаптивну екологічну ефективність за умов змін клімату.

Інтегрувати результати дослідження у навчальні програми та практичні кейси для фермерів, агрономів і фахівців екологічного профілю. Поширення прикладів успішної адаптації біостимуляторів у виробництво, разом з обґрунтованими розрахунками вуглецевого сліду, сприятиме підвищенню обізнаності сільськогосподарських виробників щодо кліматичних викликів і необхідності декарбонізації. Це особливо актуально в умовах реформування аграрного сектора України та впровадження вимог Європейського зеленого курсу.

Розробити регіональну програму підтримки господарств, що впроваджують екологічно доцільні біотехнології, з урахуванням можливостей компенсації витрат через екологічні гранти, податкові пільги або участь у добровільних кліматичних ініціативах.

ЛІТЕРАТУРА

1. ISO 14067:2018. Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification. International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/standard/71206.html>
2. IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
3. European Biostimulants Industry Council. Plant Biostimulants. URL: <https://biostimulants.eu/>
4. Дейнеко, О. В. Біостимулятори рослинного походження: механізми дії та ефективність // Біологія і хімія у школі. – 2021. – № 5. – С. 15–19.
5. Марченко, С. А., Коваленко, Т. С. Біостимулятори та їх роль у підвищенні врожайності сільськогосподарських культур // Вісник аграрної науки. – 2020. – № 9. – С. 33–38.
6. Литвинова, Т. В., Козловська, О. М. Вуглецевий слід у сільському господарстві: сучасні підходи до оцінювання // Агроекологічний журнал. – 2022. – № 1. – С. 21–28.
7. Петренко, В. М., Куц, М. В. Методи розрахунку парникових викидів у рослинництві // Науковий вісник ЛНУ імені Тараса Шевченка. – 2020. – № 3. – С. 43–49.
8. Савченко, І. В. Зменшення вуглецевого сліду в аграрному секторі: виклики та шляхи вирішення // Агроінженерія. – 2023. – № 1. – С. 60–65.

9. Літвінчук, І. П., Олійник, В. О. Органічне землеробство: біологічні підходи до підвищення врожайності // Органічне виробництво і продовольча безпека. – 2021. – № 2. – С. 19–25.
10. Бабич, А. О., Андрієнко, І. М. Екологізація аграрного виробництва: виклики та перспективи // Економіка АПК. – 2021. – № 6. – С. 47–53.
11. Державна служба статистики України. Сільське господарство України: статистичний щорічник за 2023 рік. URL: <https://ukrstat.gov.ua/>
12. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2022 році. – К.: Міндовкілля, 2023. – 400 с. URL: <https://mepr.gov.ua>
13. Сайт Запорізької обласної військової адміністрації. Агропромисловий комплекс області. URL: <https://www.zoda.gov.ua>
14. Агрокліматичний довідник Запорізької області / за ред. І. І. Кібальчича. – К.: УкрНДІГМІ, 2020. – 96 с.
15. Ковальчук, І. Г. Агроекологічне районування України. – К.: Аграрна освіта, 2019. – 112 с.
16. Атаманчук, О. В. Агроекологічна оцінка землекористування в умовах кліматичних змін // Наукові праці ЛНАУ. – 2022. – № 5. – С. 78–85.
17. Журавель, С. М. Ґрунтові ресурси України: структура, деградація, охорона // Географія та туризм. – 2021. – № 52. – С. 54–59.
18. Методичні рекомендації щодо обчислення викидів парникових газів у сільському господарстві. – К.: Міндовкілля, 2020. – 72 с.
19. Методика розрахунку вуглецевого сліду продукції / Центр екологічного сертифікування. – К.: 2021. – 45 с.
20. Foteinis, S. Life Cycle Costing and Carbon Footprint of Conventional and Organic Olive Oil. // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 141. – P. 463–470.
21. Simapro Software Manual. PRé Sustainability, Netherlands. – 2020. URL: <https://simapro.com>

22. Pandey, D. N. Carbon footprint estimation in agriculture: tools and indicators. – UNEP, 2021. – 98 p.
23. FAO. Ex-Ante Carbon Balance Tool (EX-ACT). URL: <https://www.fao.org/tc/exact/ex-act-home/en/>
24. Greenhouse Gas Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. – WRI/WBCSD, 2011. URL: <https://ghgprotocol.org>
25. Колісник, С. В. Викиди CO₂ в агросекторі: сучасні тенденції // Екологічна безпека. – 2022. – № 4. – С. 23–30.
26. Климчук, І. М. Енергоаудит в сільському господарстві: методологія і результати // Агроекологія. – 2020. – № 3. – С. 44–50.
27. Ільїна, М. М., Терещенко, О. Г. Біоенергетичний потенціал та ефективність у сільському господарстві // Біоенергетика. – 2022. – № 2. – С. 8–14.
28. Задорожна, О. Є. Біоенергетична оцінка сівозмін у господарствах півдня України // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2021. – № 3. – С. 36–42.
29. Гуменюк, О. І. Сучасні підходи до біоенергетичного аналізу виробництва зерна // Екологія і ресурси. – 2022. – № 4. – С. 31–35.
30. Кондратюк, В. А. Проблеми інтеграції екологічних технологій у сільське господарство України // Науковий вісник Полісся. – 2023. – № 2. – С. 11–16.
31. Європейська Комісія. Європейський зелений курс (European Green Deal). URL: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
32. Кабінет Міністрів України. Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року. URL: <https://www.kmu.gov.ua>
33. Система сертифікації GlobalG.A.P. та її значення для агровиробників. URL: <https://www.globalgap.org>

34. The Carbon Farming Initiative. Australian Government. URL: <https://www.dcceew.gov.au/climate-change/emissions-reduction/carbon-farming-initiative>
35. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>
36. Наказ Міністерства охорони здоров'я України № 905 від 29.09.2014 «Про затвердження гігієнічних нормативів застосування біопрепаратів». URL: <https://moz.gov.ua>
37. ДСТУ EN ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я і безпекою праці.
38. Ільїн, Ю. О. Основи охорони праці. – К.: Центр учбової літератури, 2021. – 472 с.
39. Костенко, М. І. Впровадження системи управління охороною праці в агропідприємствах // Безпека життєдіяльності. – 2020. – № 2. – С. 39–45.
40. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>