

Центральноукраїнський національний технічний університет
Агротехнічний факультет
Кафедра екології, охорони навколишнього середовища
та здорового способу життя

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕОНСЗСЖ
к.б.н., доцент
_____ Ольга МЕДВЕДСВА
« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему
**“ Екологічна оцінка вуглецевого сліду аграрного
сектору та заходи з його зменшення”**

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи _ЕО 23 М_
ОПП «Екологія»
спеціальності 101 «Екологія»
_____ Сергій ІВАЩИШИН
« ____ » _____ 2024 р.
Керівник роботи
к.б.н., доцент
_____ Ольга МЕДВЕДСВА
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент
_____ Микола КОВАЛЬОВ
« ____ » _____ 2024 р.

м. Кропивницький, 2024

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет _____ агротехнічний _____
Кафедра _____ Екології, охорони навколишнього середовища та здорового способу
життя _____
Рівень вищої освіти _____ магістр _____
Галузь знань _____ 10 – Природничі науки _____
Спеціальність _____ 101 - екологія _____
Освітньо-професійна програма _____ Екологія _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
екології, ОНС та ЗСЖ
_____ Ольга МЕДВЕДЄВА

«___» _____ 2024 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

_____ Івашишину Сергію Васильовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

_____ Екологічна оцінка вуглецевого сліду аграрного сектору та заходи з його зменшення

2. Керівник роботи

_____ Медведєва Ольга Володимирівна, к.б.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 15.12.2024 _____

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Мета роботи:

оцінити вуглецевий слід аграрного сектору Кіровоградської області для основних видів сільськогосподарської продукції та визначити ефективні екологічні та економічні заходи зі зменшення його впливу на клімат.

Завдання:

1. Вивчити теоретичні основи поняття вуглецевого сліду та методів його вимірювання.
2. Дослідити фактори, що впливають на вуглецевий слід аграрного сектору Кіровоградської області.
3. Провести оцінку вуглецевого сліду для основних видів сільськогосподарської продукції області.
4. Розробити рекомендації щодо зменшення вуглецевого сліду в межах регіону з урахуванням специфіки аграрного виробництва.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технологічна частина	Медведєва О.В.		
Охорона праці	Лузан П.Г.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Огляд літератури Розділ 6. Охорона праці	До 10.11.2024	
2	Розділ 2. Технологія утворення кавової гущі в умовах закладів харчування	До 20.11.2024	
3	Розділ 3. Методика дослідження	До 25.11.2024	
4	Розділ 4. Результати досліджень Розділ 5. Економічна частина	До 05.12.2024	
5	Вступ, список літератури, висновки	До 10.12.2024	
6	Оформлення роботи і презентації	До 12.12.2024	

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2024 р.

Підпис керівника

_____ (прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2024 р.

Підпис здобувача

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему «Екологічна оцінка вуглецевого сліду аграрного сектору та заходи з його зменшення»

Випускна кваліфікаційна робота виконана на 78 сторінках, містить 6 рисунків, 34 літературних джерела.

Об'єктом дослідження є вуглецевий слід аграрного сектору Кіровоградської області.

Метою дослідження є оцінка вуглецевого сліду аграрного сектору Кіровоградської області для основних видів сільськогосподарської продукції та визначення ефективних екологічних та економічних заходів зі зменшення його впливу на клімат.

У вступі розкривається актуальність теми, мета і задачі дослідження.

У першому розділі зроблено огляд літератури за темою дослідження.

У другому розділі наведено фізико-географічну характеристику району дослідження.

У третьому розділі наведено методика дослідження.

У четвертому розділі наведено результати дослідження.

У п'ятому розділі розглянуто охорону праці.

У висновках наведені результати кваліфікаційної роботи.

**ВУГЛЕЦЕВИЙ СЛІД, СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ПРОДУКЦІЯ,
ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ**

ЗМІСТ

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Теоретичні основи оцінки вуглецевого сліду.....	10
1.1. Поняття вуглецевого сліду.....	10
1.2. Основні механізми утворення парникових газів	15
1.3. Методи оцінки вуглецевого сліду	16
1.4. Фактори, що впливають на вуглецевий слід сільськогосподарської продукції	21
1.5. Міжнародні нормативні документи та зобов'язання щодо оцінки та зменшення вуглецевого сліду	22
1.6. Фактори, що впливають на обсяги вуглецевого сліду різних галузей економіки	25
1.7. Соціально-економічний аспект вуглецевого сліду	28
1.8. Екологічні та економічні наслідки зростання вуглецевого сліду..	31
РОЗДІЛ 2. Фізико-географічна характеристика Кіровоградської області в контексті дослідження вуглецевого сліду.....	35
РОЗДІЛ 3. Методи дослідження	41
РОЗДІЛ 4. Дослідження вуглецевого сліду різних видів сільськогосподарської продукції (на прикладі Кіровоградської області)	45
4.1 Огляд обраних видів продукції для дослідження	45
4.2 Методи збору даних	47
4.3. Аналіз вуглецевого сліду зернових культур	48
4.4. Аналіз вуглецевого сліду овочевих культур	54
4.5. Аналіз вуглецевого сліду тваринницької продукції	57

Розділ 5. Охорона праці	67
Висновки.....	72
Список використаних джерел.....	74

ВСТУП

У сучасному світі глобальні кліматичні зміни є одним із ключових викликів для людства. Одним із вагомих чинників, що сприяє цим змінам, є викиди парникових газів, пов'язані з діяльністю аграрного сектору. Вуглецевий слід аграрного виробництва охоплює всі етапи життєвого циклу продукції – від підготовки ґрунту до транспортування готової продукції споживачам.

Кіровоградська область є однією з провідних аграрних областей України, відомою високою продуктивністю у виробництві зернових, олійних культур та інших видів продукції. Однак інтенсивне сільськогосподарське виробництво створює значний вуглецевий слід, що вимагає ретельного аналізу та впровадження ефективних заходів з його зменшення.

Для Кіровоградської області питання зменшення вуглецевого сліду аграрного сектору є надзвичайно актуальним, оскільки область залежить від аграрної економіки та є вагомим експортером сільськогосподарської продукції. У контексті змін клімату та зростаючих вимог міжнародних партнерів щодо екологічної відповідальності, розробка ефективних механізмів оцінки й зменшення вуглецевого сліду є важливою передумовою для сталого розвитку регіону.

Мета і завдання дослідження

Мета дослідження – оцінити вуглецевий слід аграрного сектору Кіровоградської області для основних видів сільськогосподарської продукції та визначити ефективні екологічні та економічні заходи зі зменшення його впливу на клімат..

Завдання дослідження:

1. Вивчити теоретичні основи поняття вуглецевого сліду та методів його вимірювання.

2. Дослідити фактори, що впливають на вуглецевий слід аграрного сектору Кіровоградської області.

3.Провести оцінку вуглецевого сліду для основних видів сільськогосподарської продукції області.

4.Розробити рекомендації щодо зменшення вуглецевого сліду в межах регіону з урахуванням специфіки аграрного виробництва.

Об'єкт дослідження – вуглецевий слід аграрного сектору Кіровоградської області.

Предмет дослідження – методи оцінки та заходи зі зменшення вуглецевого сліду у виробництві сільськогосподарської продукції в регіоні.

Наукова новизна

У роботі вперше проведено комплексну оцінку вуглецевого сліду аграрного сектору Кіровоградської області з урахуванням місцевих кліматичних і виробничих умов. Запропоновано регіонально адаптовані підходи до зменшення вуглецевого сліду, які враховують екологічні й економічні особливості області.

Практична цінність роботи

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення екологічної ефективності аграрного виробництва в Кіровоградській області. Запропоновані рекомендації спрямовані на зменшення вуглецевого сліду аграрного сектору, що дозволить підвищити конкурентоспроможність продукції, зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити сталий розвиток регіону. Розробки можуть бути застосовані місцевими органами влади, підприємствами та іншими зацікавленими сторонами.

Особистий внесок здобувача в наукові дослідження. Викладені в роботі результати отримано автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні положення випускної кваліфікаційної роботи доповідалися на III Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології агропромислового виробництва» 14-15 листопада, ЦНТУ, м.Кропивницький.

Публікації. Результати проведених досліджень опубліковані у наступних публікаціях:

1. О. Медведєва, С. Іващишин, Т. Мірзак. Оцінка вуглецевого сліду різних видів сільськогосподарської продукції.// Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології агропромислового виробництва». 2024. – Кропивницький: ЦНТУ. С.281-283.

2. С. Іващишин, О. Медведєва. Зниження вуглецевого сліду аграрного сектору через оптимізацію добрив. Збірник праць молодих науковців ЦНТУ Випуск 14, 2024. С.70-73.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ВУГЛЕЦЕВОГО СЛІДУ

1.1. Поняття вуглецевого сліду

Вуглецевий слід (*carbon footprint*) – це кількісний показник, який характеризує загальний обсяг викидів парникових газів (ПГ), викликаних діяльністю людини, організації, продукту або процесу. Цей показник зазвичай виражається у вигляді еквіваленту діоксиду вуглецю (CO_2e), що дозволяє об'єднати вплив різних газів на клімат у єдиній шкалі. Парникові гази, які враховуються при розрахунку вуглецевого сліду, включають діоксид вуглецю (CO_2), метан (CH_4), оксид азоту (N_2O) та інші [1, 3].

Основні аспекти поняття "вуглецевий слід"

Життєвий цикл продукції (Life Cycle Assessment, LCA)

У контексті оцінки продукції, вуглецевий слід охоплює всі етапи життєвого циклу продукту: від видобутку сировини, виробництва, транспортування, використання до утилізації. Це дозволяє отримати повну картину впливу продукту на клімат.

Прямі та непрямі викиди

Прямі викиди – це ті, які виникають безпосередньо в результаті діяльності об'єкта (наприклад, спалювання палива в транспорті).

Непрямі викиди – це емісії, які утворюються у процесі виробництва ресурсів, що використовуються (наприклад, виробництво електроенергії, споживаної підприємством).

Еквівалент CO_2 (CO_2e)

Вуглецевий еквівалент є стандартизованим способом оцінки впливу різних парникових газів на клімат. Наприклад, метан має потенціал глобального потепління приблизно у 25 разів вищий за діоксид вуглецю, тому одна тонна CH_4 прирівнюється до 25 тонн CO_2e .

Підходи до трактування вуглецевого сліду

Існують різні підходи до розуміння та обчислення вуглецевого сліду, які залежать від контексту оцінки:

Організаційний підхід

Застосовується для оцінки викидів, пов'язаних з діяльністю компаній чи установ. Наприклад, GHG Protocol пропонує стандартний підхід до поділу викидів на три категорії:

Scope 1 – прямі викиди;

Scope 2 – непрямі викиди, пов'язані зі споживанням енергії;

Scope 3 – інші непрямі викиди, зокрема транспортування, постачання сировини.

Продуктовий підхід

Спрямований на оцінку вуглецевого сліду конкретного продукту. Цей підхід є основою для екомаркування та сертифікації продукції за стандартами ISO 14067.

Національний підхід

Використовується для оцінки впливу економіки країни або регіону на клімат. Наприклад, показник "вуглецевий слід на душу населення" дає уявлення про середній внесок однієї людини у викиди ПГ.

Споживчий підхід

Орієнтований на оцінку впливу окремих осіб або домогосподарств. До уваги беруться викиди, пов'язані з енергоспоживанням, транспортом, споживанням продуктів харчування та товарів [7, 8].

1.1.1. Розмежування термінів

У науковій літературі існує кілька термінів, які доповнюють поняття "вуглецевий слід" і допомагають деталізувати його:

Екологічний слід (Ecological Footprint) – ширше поняття, яке враховує вплив діяльності людини на природні ресурси, зокрема використання землі, води та біоресурсів.

Вуглецева інтенсивність (Carbon Intensity) – відношення обсягу викидів ПГ до одиниці продукції або доходу (наприклад, кг CO₂e/кВт·год енергії).

1.1.2. Значення вуглецевого сліду в сучасній екології

Оцінка вуглецевого сліду є важливим інструментом для формування кліматичної політики, стратегій сталого розвитку та екологічної відповідальності. Це поняття дозволяє порівнювати екологічну ефективність різних рішень, сприяє популяризації низьковуглецевих технологій і формує розуміння масштабів впливу людської діяльності на глобальний клімат [15].

Інтенсивне використання ресурсів, зокрема викопного палива, у різних секторах економіки призводить до зростання концентрації парникових газів (ПГ) в атмосфері, що є однією з основних причин змін клімату. Поняття "вуглецевий слід" широко застосовується в оцінці екологічного впливу продукції, підприємств та навіть окремих країн. Воно дозволяє визначити ключові джерела викидів і розробити стратегії для їх зменшення.

Згідно з визначенням Міжурядової групи експертів зі змін клімату (IPCC), вуглецевий слід є мірою впливу людської діяльності на кліматичну систему через викиди ПГ. Цей показник враховує як прямі викиди, що виникають під час виробництва, так і непрямі викиди, пов'язані з видобутком, транспортуванням та переробкою ресурсів [4, 6].

У контексті сільськогосподарської продукції вуглецевий слід охоплює всі етапи життєвого циклу продукції, починаючи з вирощування сировини та закінчуючи її утилізацією. Для оцінки вуглецевого сліду аграрної продукції важливо враховувати особливості аграрного виробництва, включаючи використання добрив, води, енергії, а також утворення біогазів під час діяльності.

Вуглецевий слід має важливе значення для оцінки екологічної ефективності виробничих процесів. Його зменшення є основним завданням в умовах сучасної кліматичної кризи. Для цього застосовуються різні технології,

які знижують інтенсивність викидів, наприклад, використання альтернативних джерел енергії, впровадження органічних добрив і перехід на технології точного землеробства. Завдяки розрахункам вуглецевого сліду можна ідентифікувати найвразливіші етапи виробничого процесу і сфокусувати зусилля на їх оптимізації.

Сільськогосподарська продукція, особливо в регіонах із високою залежністю від традиційних енергетичних джерел, таких як Кіровоградська область, формує значний вуглецевий слід. Особливу увагу слід приділити впливу місцевих факторів, таких як кліматичні умови, тип ґрунтів і доступність водних ресурсів, які можуть суттєво впливати на обсяги викидів. Наприклад, у посушливих умовах збільшення поливу може призводити до вищого споживання енергії, а отже, до зростання вуглецевого сліду.

Таким чином, поняття вуглецевого сліду є багатограним і комплексним показником, який дозволяє оцінити вплив різних процесів і продуктів на зміну клімату. Його значущість зростає в умовах глобальних викликів, пов'язаних із необхідністю забезпечення сталого розвитку та збереження екосистем для майбутніх поколінь.

1.1.3. Механізм формування вуглецевого сліду в екологічних системах

Вуглецевий слід формується внаслідок діяльності природних та антропогенних систем, які спричиняють викиди парникових газів (ПГ). Основними джерелами таких викидів є природні та антропогенні джерела викидів [2, 9].

До природних джерел відносяться:

- Процеси дихання живих організмів. Рослини, тварини та мікроорганізми під час дихання виділяють CO_2 . Хоча цей процес є природним, він є невід'ємною частиною глобального вуглецевого циклу.

- Розкладання органічної речовини. У процесі мінералізації залишків рослин та тварин мікроорганізми виділяють значні обсяги CO_2 та CH_4 .

- Виверження вулканів. Природні катастрофічні явища, такі як вулканічна активність, спричиняють виділення CO_2 та інших газів у атмосферу.

- Пожежі в екосистемах. Лісові пожежі є джерелом великих обсягів CO_2 , а також частково метану та оксидів азоту.

До антропогенних джерел викидів відносяться:

- Спалювання викопного палива. Найбільша частка викидів CO_2 пов'язана з використанням вугілля, нафти та газу для виробництва енергії, транспорту та промислових потреб.

- Сільське господарство. Використання добрив, утримання худоби та переробка біомаси створюють значні викиди метану (CH_4) і оксидів азоту (N_2O).

- Лісозаготівля та зміни землекористування. Вирубка лісів і перетворення природних екосистем на сільськогосподарські угіддя спричиняють викиди CO_2 через зменшення обсягу поглинання вуглекислого газу.

- Промислові процеси. Хімічне виробництво, будівельна індустрія (наприклад, виробництво цементу) є джерелами CO_2 , а також фторованих газів (HFC, PFC).

- Відходи. Розкладання органічних відходів на сміттєзвалищах створює викиди метану, а при спалювання сміття виділяється CO_2 .

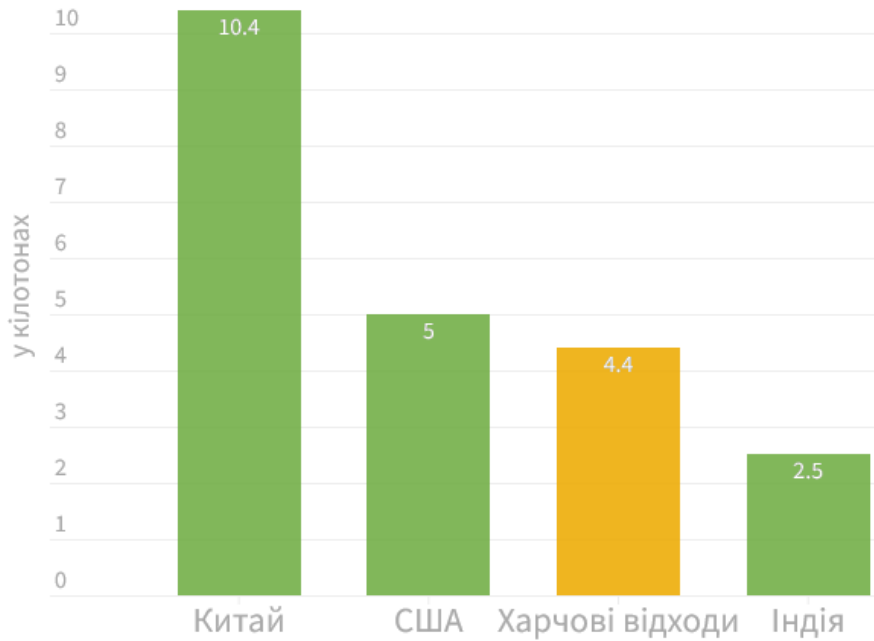


Рис.1. Харчові відходи всієї планети займають третє місце за викидами вуглецю після Китаю та США [Джерело: Європейська комісія]

1.2. Основні механізми утворення парникових газів

Фотосинтез та дихання вуглецевого циклу: у природних системах баланс між фотосинтезом та диханням є ключовим для регуляції вуглецю. Рослини поглинають CO₂ із атмосфери, перетворюючи його на органічну речовину через фотосинтез. Однак у процесі дихання, а також при розкладанні органічних речовин, вуглець повертається до атмосфери у формі CO₂.

Утворення метану (CH₄): у природних умовах метан утворюється в анаеробних умовах, таких як заболочені території, де мікроорганізми розкладають органічну речовину без доступу до кисню [11].

У сільськогосподарських системах найбільшими джерелами метану є рисові поля та тваринництво, особливо процеси травлення у жуйних тварин.

Утворення оксидів азоту (N₂O): оксиди азоту утворюються переважно через використання азотних добрив у сільському господарстві, коли мікроорганізми в ґрунті перетворюють азот на N₂O; спалювання біомаси або викопного палива.

Зв'язок між змінами землекористування та викидами ПГ: перетворення лісів на сільськогосподарські угіддя чи забудовані території порушує природний вуглецевий баланс. Вирубка лісів зменшує кількість дерев, здатних поглинати CO_2 , а обробіток ґрунту вивільняє вуглець, що зберігався у його органічній речовині [18].

Енергетичні процеси: виробництво та використання енергії є основним антропогенним механізмом утворення викидів. Це включає процеси горіння для отримання тепла, виробництва електроенергії, транспортування та промислових процесів.

Роль океанів у механізмі формування вуглецевого сліду: океани виступають важливим природним поглиначем CO_2 . Вони поглинають близько 25% антропогенних викидів, однак підвищення температури води та закислення океанів знижують їх здатність утримувати вуглець.

Технологічний прогрес та механізми скорочення викидів: у сучасному світі впровадження відновлювальних джерел енергії, технологій уловлювання та зберігання вуглецю (CCS), а також зменшення втрат енергії дозволяють частково нейтралізувати механізми утворення ПГ.

Отже, розуміння механізмів формування вуглецевого сліду в природних та антропогенних системах є ключовим для його ефективного контролю та зменшення. Усунення дисбалансу у природному вуглецевому циклі та впровадження екологічно відповідальних технологій у промисловості та сільському господарстві є основними кроками до стабілізації кліматичної ситуації.

1.3. Методи оцінки вуглецевого сліду

Оцінка вуглецевого сліду — це комплексний процес, який враховує вплив різних джерел викидів парникових газів (ПГ) на довкілля. Для цього використовуються різноманітні методи та підходи, що дозволяють визначити як прямі, так і непрямі викиди ПГ. Ключовими підходами до вимірювання вуглецевого сліду є методи життєвого циклу (LCA), спеціалізовані

калькулятори вуглецевого сліду та інші підходи, розроблені з урахуванням специфіки різних галузей [12].

Для оцінки вуглецевого сліду використовують різні підходи, що базуються на аналізі життєвого циклу продукції та враховують викиди парникових газів на всіх стадіях її виробництва та використання. Основними методами вимірювання є наступні:

Метод життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA) є одним із найпоширеніших підходів для оцінки вуглецевого сліду. Він базується на комплексному аналізі всіх етапів життєвого циклу продукції чи процесу, що включає:

1. **Видобуток та переробку ресурсів.** Оцінюються викиди, пов'язані з видобутком, транспортуванням та первинною переробкою сировини.
2. **Виробництво.** Враховуються енергетичні витрати, використання матеріалів, а також побічні викиди ПГ під час виробничих процесів.
3. **Дистрибуція.** Оцінюються викиди під час транспортування та зберігання продукції.
4. **Використання.** Аналізується вплив використання продукту на обсяги ПГ, наприклад, під час експлуатації техніки чи споживання енергії.
5. **Утилізація та переробка.** Оцінюються викиди під час переробки, захоронення чи повторного використання матеріалів.

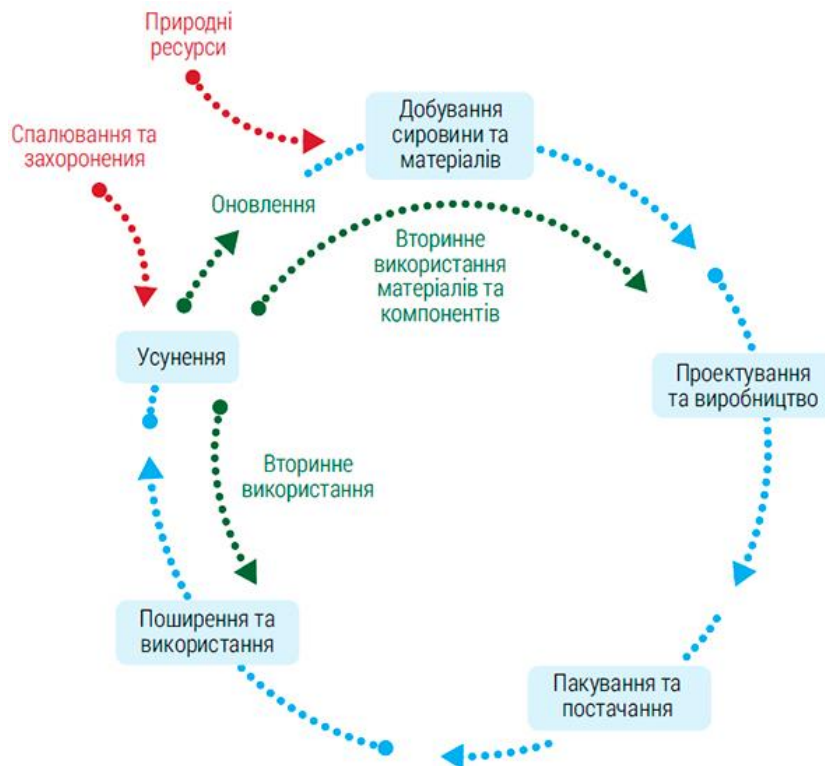


Рис. 2. Життєвий цикл продукції

Метод LCA регулюється міжнародними стандартами, такими як ISO 14040 та ISO 14044, і є одним із найбільш універсальних підходів. Його перевага полягає в системності та врахуванні непрямих викидів, однак недоліками є трудомісткість і значний обсяг даних, необхідних для розрахунків [6].

Вуглецевий аудит — це методика, спрямована на оцінку обсягу викидів ПГ, створених окремим підприємством, організацією чи процесом. Аудит допомагає визначити основні джерела викидів та розробити заходи щодо їх мінімізації. Основними етапами вуглецевого аудиту є:

- Збір даних про споживання ресурсів (паливо, електроенергія, вода).
- Розрахунок прямих і непрямих викидів.
- Аналіз отриманих результатів та розробка рекомендацій для скорочення викидів.

Калькулятори вуглецевого сліду

Калькулятори вуглецевого сліду — це програмні чи веб-застосунки, які дозволяють швидко оцінити вуглецевий слід окремих осіб, компаній або

продуктів. Вони базуються на спрощених методиках, що адаптовані для швидкого застосування, і використовують стандартні дані для розрахунків.

Індивідуальні калькулятори:

Використовуються для оцінки впливу окремої особи чи домогосподарства, беруть до уваги щоденні практики, такі як транспорт, споживання енергії, харчування та інші аспекти побутового життя.

Приклад: *Carbon Footprint Calculator* від CarbonFootprint.com.

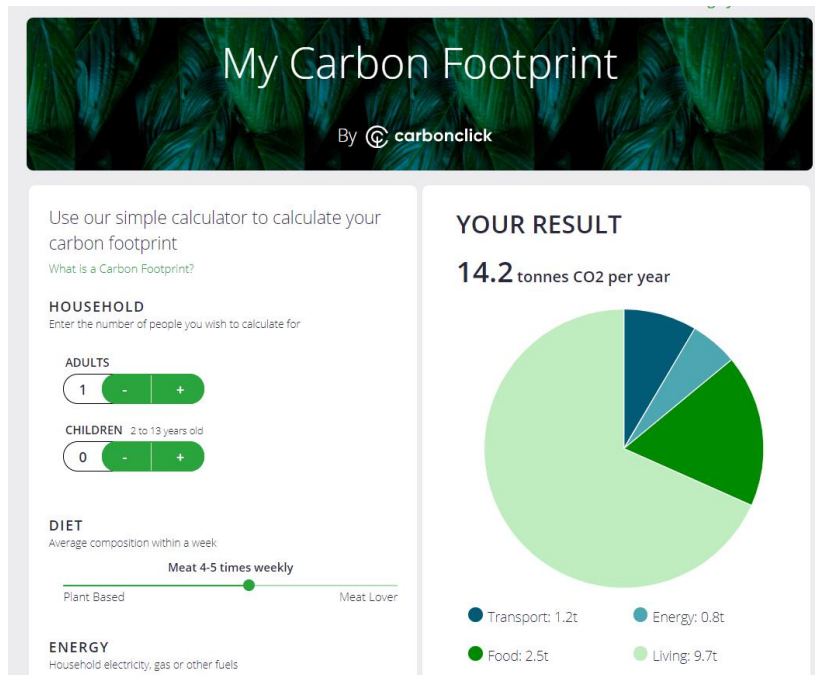


Рис. 3. Приклад розрахунку в калькуляторі вуглецевого сліду.

Калькулятори для компаній:

Оцінюють загальний вуглецевий слід підприємства, враховуючи виробництво, логістику та офісні процеси, часто використовуються для корпоративної звітності за стандартами, такими як GHG Protocol.

Приклад: *GHG Protocol Calculator*.

Калькулятори для продуктів

Враховують життєвий цикл окремого продукту. Наприклад, калькулятори для оцінки вуглецевого сліду продуктів харчування враховують вплив сільського господарства, транспортування, пакування та зберігання.

Перевагою калькуляторів є їхня доступність і зручність, однак спрощення методів може призводити до неточностей у специфічних випадках.

Окрім методів LCA та калькуляторів, існують інші підходи, які можуть використовуватися для оцінки вуглецевого сліду [3, 15, 16].

Метод енергетичного балансу: оцінює вуглецевий слід через облік енергетичних витрат. Підходить для аналізу діяльності, де основним джерелом викидів є споживання енергії.

Економетричний аналіз: використовується для оцінки вуглецевого сліду на рівні національної економіки або галузі. Поеднує дані про економічну активність і енергетичне споживання для визначення викидів.

Метод «від поля до столу» (Field-to-Fork): використовується для оцінки вуглецевого сліду продуктів харчування. Охоплює всі етапи виробництва та споживання харчових продуктів.

1.3.1. Класифікація методів оцінки вуглецевого сліду

Методи оцінки вуглецевого сліду можна класифікувати за різними критеріями:

За рівнем деталізації: комплексні (наприклад, LCA); спрощені (наприклад, калькулятори).

За об'єктом дослідження: продуктові (зосереджені на оцінці конкретних товарів); організаційні (аналізують вуглецевий слід компаній чи підприємств).

Регіональні (вивчають вплив певних територій чи регіонів).

За використанням стандартів: міжнародні (ISO 14067, GHG Protocol); локальні (адаптовані для конкретних країн або регіонів).

Існує низка міжнародних стандартів для вимірювання вуглецевого сліду, зокрема:

ISO 14067 - стандарт для розрахунку вуглецевого сліду продукції.

GHG Protocol - протокол для оцінки викидів ПГ на рівні організацій.

PAS 2050 - методологія оцінки вуглецевого сліду продукції та послуг.

Отже, методи оцінки вуглецевого сліду є важливим інструментом у розумінні та зменшенні впливу діяльності людини на довкілля. Використання таких підходів, як LCA, калькулятори та економетричний аналіз, дозволяє оцінити вплив як на рівні окремих продуктів, так і на рівні галузей чи регіонів. Різноманітність методів дає можливість адаптувати їх до специфічних потреб, однак важливо обирати підходи, які відповідають меті та завданням дослідження.

1.4. Фактори, що впливають на вуглецевий слід сільськогосподарської продукції

Вуглецевий слід сільськогосподарської продукції залежить від багатьох факторів, які можна умовно розділити на природні, технологічні та організаційні [19].

Природні фактори:

Кліматичні умови. У регіонах із посушливим кліматом витрати води та енергії на зрошення є значно вищими, що збільшує вуглецевий слід. Зміни клімату, такі як підвищення температури та нерівномірний розподіл опадів, також впливають на рівень викидів.

Типи ґрунтів: органічні ґрунти можуть виділяти значні обсяги метану та закису азоту під час обробітку, що збільшує вуглецевий слід.

Технологічні фактори: хімічні добрива, зокрема азотні, є одним із головних джерел викидів N_2O , що має високий парниковий ефект. Альтернативою може бути використання органічних добрив чи біологічних інокулянтів.

Застосування енергоресурсів: використання викопного палива для роботи сільськогосподарської техніки та систем зрошення суттєво впливає на вуглецевий слід. Заміна традиційних джерел енергії на відновлювані може значно скоротити викиди.

Технології виробництва: інтенсивні технології, спрямовані на збільшення врожайності, як правило, мають більший вуглецевий слід через

високе споживання ресурсів. Екологічно чисті технології, такі як органічне землеробство, здатні зменшити вплив на клімат [21].

Організаційні фактори

Логістика: транспортування продукції на великі відстані, особливо з використанням автомобільного транспорту, збільшує вуглецевий слід. Локалізація виробництва та споживання продукції є ефективним способом його зменшення.

Переробка відходів: неутилізовані відходи аграрного виробництва, такі як рослинні залишки, часто стають джерелом метану при їх розкладанні. Використання біогазових установок для переробки відходів дозволяє зменшити викиди та отримати додаткову енергію.

У сільському господарстві України впровадження системи No-Till дозволяє зменшити обробіток ґрунту, що сприяє зниженню викидів CO₂ за рахунок скорочення споживання пального. У багатьох фермерських господарствах також використовуються сучасні системи моніторингу, які допомагають оптимізувати витрати ресурсів і зменшити вплив на довкілля.

1.5. Міжнародні нормативні документи та зобов'язання щодо оцінки та зменшення вуглецевого сліду

У сучасному світі питання оцінки та зменшення вуглецевого сліду займає важливе місце в екологічній політиці національних урядів і міжнародних організацій. Міжнародні нормативні документи створюють рамки для гармонізації дій країн, спрямованих на боротьбу зі змінами клімату і встановлюють стандарти для вимірювання та скорочення викидів парникових газів (ПГ) [22]. Ключовими угодами, протоколами та рекомендаціями, що мають важливе значення для оцінки та зменшення вуглецевого сліду є наступні:

Кіотський протокол

Кіотський протокол (1997 р.) є одним із перших міжнародних документів, який встановив юридично зобов'язуючі цілі для скорочення

викидів ПГ у промислово розвинених країнах. Основні положення протоколу наступні:

- Юридично зобов'язуючі квоти на викиди. Для кожної країни-учасниці було визначено максимальні обсяги викидів ПГ.

- Механізм чистого розвитку (CDM) дозволяє розвиненим країнам інвестувати у проекти зменшення викидів у країнах, що розвиваються, і зараховувати отримані скорочення до власних квот.

- Торгівля викидами - країни з надлишковими квотами можуть продавати їх іншим учасникам.

- Спільні проекти між країнами для скорочення викидів.

- Моніторинг і звітність. Протокол зобов'язує країни регулярно звітувати про рівень своїх викидів.

Киотський протокол створив основу для сучасної кліматичної політики, однак його вплив був обмеженим через складність механізмів і неповну участь ключових економік, таких як США.

Паризька угода

Паризька угода (2015 р.) стала наступним кроком у боротьбі зі змінами клімату, який передбачає більш гнучкий підхід до скорочення викидів ПГ. Головна мета угоди — утримання зростання глобальної середньої температури в межах 1,5–2 °С порівняно з доіндустріальним рівнем.

Основні положення Паризької угоди:

1. Національно визначені внески (NDC): кожна країна самостійно визначає власні цілі зі скорочення викидів і шляхи їх досягнення.

2. Принцип справедливості: враховуються економічні можливості та рівень розвитку кожної країни.

3. Фінансова підтримка: розвинені країни зобов'язуються надавати фінансову допомогу країнам, що розвиваються, для впровадження екологічних заходів.

4. Механізм прозорості: передбачає регулярну звітність і моніторинг виконання зобов'язань.

Паризька угода має ширший міжнародний охоплення, ніж Кіотський протокол, і наголошує на спільній відповідальності, хоча й з урахуванням відмінностей між країнами [17].

Рекомендації Міжурядової групи експертів зі змін клімату (ІРСС)

ІРСС є провідним міжнародним органом, що досліджує зміни клімату і формує рекомендації для політиків та науковців. Основні положення, що стосуються оцінки вуглецевого сліду:

1. Глобальний вуглецевий бюджет: ІРСС публікує дані про допустимий обсяг викидів ПГ, який відповідає встановленим кліматичним цілям.
2. Методологія оцінки викидів: ІРСС розробила докладні рекомендації щодо обчислення викидів ПГ для різних секторів економіки.
3. Наукова база: організація регулярно публікує звіти, що містять актуальні дані про вплив викидів ПГ на клімат.

Рекомендації ІРСС використовуються багатьма країнами для розробки національних стратегій скорочення викидів і формування екологічної політики.

ISO 14067

Міжнародний стандарт ISO 14067 визначає вимоги до обчислення та звітування про вуглецевий слід продукції. Він заснований на методі оцінки життєвого циклу (LCA) і забезпечує єдиний підхід до розрахунків у глобальному масштабі.

Основні аспекти стандарту ISO 14067:

1. Вимоги до прозорості: обчислення вуглецевого сліду повинно базуватися на перевірених і доступних даних.
2. Охоплення життєвого циклу: стандарт враховує всі етапи життєвого циклу продукції, від видобутку ресурсів до утилізації.
3. Стандартизація даних: ISO 14067 встановлює уніфіковані вимоги до збору, аналізу та звітування даних.

ISO 14067 сприяє підвищенню точності оцінки вуглецевого сліду і використовується як основа для багатьох корпоративних екологічних звітів.

Інші міжнародні нормативні документи

1. **Європейська Зелена Угода (European Green Deal):** амбітний план ЄС зі скорочення викидів ПГ до нульового рівня до 2050 року.
2. **Цілі сталого розвитку ООН (SDGs):** спрямовані на сталий розвиток, включаючи боротьбу зі змінами клімату (Ціль 13).
3. **Рамкова конвенція ООН про зміну клімату (UNFCCC):** основоположний документ для міжнародної співпраці у сфері клімату.

Отже, міжнародні нормативні документи та зобов'язання відіграють важливу роль у формуванні глобальних підходів до оцінки та скорочення вуглецевого сліду. Вони забезпечують єдині стандарти для розрахунків, сприяють співпраці між країнами і створюють умови для зменшення впливу людської діяльності на клімат. Використання рекомендацій таких документів, як Кіотський протокол, Паризька угода, ISO 14067 та звітів IPCC, є ключовим елементом у розробці екологічної політики на національному та глобальному рівнях.

1.6. Фактори, що впливають на обсяги вуглецевого сліду різних галузей економіки

Обсяги вуглецевого сліду різних галузей економіки залежать від багатьох взаємопов'язаних факторів, серед яких основну роль відіграють типи використовуваних енергетичних джерел, технологічні процеси, кліматичні особливості та структура економіки. Розуміння цих факторів є ключовим для ефективного управління викидами парникових газів (ПГ) і розробки заходів з їх зменшення [30, 31].

1.6.1. Енергетичні джерела

Енергетичні джерела визначають основний обсяг викидів ПГ у більшості галузей економіки. Використання викопного палива, такого як вугілля, нафта та природний газ, є головним джерелом викидів діоксиду

вуглецю (CO_2), який становить значну частину глобального вуглецевого сліду.

Основні аспекти впливу енергетичних джерел:

Частка викопного палива: галузі, що базуються на вугіллі (наприклад, енергетика, металургія), мають найвищий вуглецевий слід.

Альтернативна енергетика: перехід до відновлюваних джерел енергії (вітрова, сонячна, гідроенергетика) значно знижує вуглецевий слід. Наприклад, у країнах ЄС розвиток зеленої енергетики вже привів до скорочення викидів у промисловості.

Енергетична ефективність: підвищення ефективності використання енергії сприяє зменшенню викидів.

Прикладом енергетичної трансформації є сільське господарство, де заміна дизельних генераторів на сонячні батареї зменшує вуглецевий слід і залежність від викопного палива [12].

1.6.2. Технологічні процеси

Технологічні процеси безпосередньо впливають на обсяги викидів у таких секторах, як промисловість, транспорт і будівництво. Застарілі технології, як правило, споживають більше енергії і спричиняють вищі викиди, ніж сучасні.

Основні фактори:

Інтенсивність енергоспоживання: технології з високою енергоємністю (наприклад, виплавка сталі або виробництво цементу) створюють значний вуглецевий слід.

Інновації та автоматизація: автоматизація процесів і використання технологій з низькими викидами дозволяють знизити вуглецевий слід. Наприклад, впровадження електropечей у металургії зменшує викиди CO_2 порівняно з традиційними доменними печами.

Утилізація та рециклінг: застосування замкнених циклів виробництва дозволяє мінімізувати втрати матеріалів і енергії.

Промисловість демонструє великі можливості для скорочення викидів шляхом впровадження екологічно безпечних технологій.

1.6.3. Кліматичні особливості

Кліматичні умови також значно впливають на вуглецевий слід. Регіони з екстремальними температурами зазвичай споживають більше енергії для опалення або охолодження, що призводить до підвищення викидів ПГ.

Кліматичні чинники впливу:

Потреби в енергії: у холодних регіонах високе споживання енергії для опалення збільшує вуглецевий слід, тоді як у спекотних регіонах основною проблемою є енергія для кондиціонування повітря.

Природні ресурси: наявність природних відновлюваних джерел енергії, таких як сонячна або вітрова енергія, може сприяти зменшенню вуглецевого сліду.

Наприклад, у Скандинавських країнах, попри холодний клімат, використання гідроенергетики дозволило мінімізувати залежність від викопного палива і зменшити викиди [7].

1.6.4. Структура економіки

Галузева структура економіки визначає загальні обсяги викидів. Економіки, орієнтовані на важку промисловість, зазвичай мають вищий вуглецевий слід, ніж економіки, що базуються на сфері послуг або ІТ.

Особливості впливу структури економіки:

Рівень індустріалізації: у країнах із розвинутою промисловістю (наприклад, Китаї, Індії) рівень викидів значно вищий.

Роль аграрного сектору: у країнах, що розвиваються, значний вуглецевий слід може формуватися через неефективне використання добрив і палива в аграрному секторі.

Розвиток технологічних секторів: перехід до цифрової економіки та сфери послуг сприяє зменшенню загального рівня викидів.

Дослідження показують, що урбанізація та підвищення рівня життя також можуть впливати на викиди через збільшення попиту на транспорт, енергію та товари.

1.6.5. Взаємодія між факторами

Фактори, що впливають на обсяги вуглецевого сліду, часто взаємопов'язані. Наприклад, вибір енергетичних джерел залежить від кліматичних умов, а структура економіки визначає характер технологічних процесів.

Комбіноване врахування всіх цих чинників є основою для розробки ефективних стратегій скорочення вуглецевого сліду в різних галузях економіки.

Отже, обсяги вуглецевого сліду в економіці залежать від поєднання багатьох факторів, таких як джерела енергії, технологічні процеси, кліматичні особливості та структура економіки. Розуміння цих факторів дозволяє визначити найбільш вуглецево-інтенсивні галузі та розробити ефективні стратегії зменшення викидів ПГ. Для досягнення глобальних цілей зі скорочення вуглецевого сліду необхідно впроваджувати новітні технології, переходити до відновлюваних джерел енергії та адаптувати економічну структуру до екологічних викликів [25].

1.7. Соціально-економічний аспект вуглецевого сліду

Вуглецевий слід, що є індикатором екологічного впливу діяльності людини, перебуває в тісному зв'язку з соціально-економічними факторами. Зміна способів виробництва, попиту на продукцію та моделей споживання може суттєво вплинути на обсяги викидів парникових газів (ПГ). У цьому розділі розглянуто взаємозв'язок між діяльністю людини, економічними трендами та екологічними наслідками.

1.7.1. Вплив людської діяльності на вуглецевий слід

Людська діяльність є головним джерелом викидів ПГ, зумовлених спалюванням викопного палива, вирубуванням лісів, інтенсивним використанням добрив і зміною землекористування. Основні джерела викидів:

Промисловість та енергетика. Високий рівень урбанізації та індустріалізації призводить до зростання споживання енергії та матеріалів, що збільшує викиди CO_2 , CH_4 та N_2O .

Сільське господарство. Використання добрив, метанові викиди від тваринництва та деградація ґрунтів є значними джерелами викидів [29].

Транспорт. Розширення транспортної інфраструктури та зростання кількості транспортних засобів призводять до збільшення викидів CO_2 .

Показово, що багатші країни мають вищий вуглецевий слід на душу населення, зумовлений високим рівнем споживання енергії та товарів. Водночас у країнах, що розвиваються, вуглецевий слід збільшується через екстенсивний характер економічного зростання.

1.7.2. Зміна попиту на продукцію

Зміна споживчих уподобань безпосередньо впливає на структуру виробництва та обсяги викидів ПГ. Попит на продукцію може змінюватися внаслідок соціальних, економічних або технологічних факторів.

Основні аспекти впливу попиту:

Популяризація екологічної продукції. Поширення інформації про вплив кліматичних змін стимулює зростання попиту на продукцію з низьким вуглецевим слідом, наприклад органічні продукти, електромобілі або енергозберігаючі технології.

Зростання добробуту населення. Підвищення доходів часто супроводжується збільшенням споживання, що веде до зростання обсягів виробництва і, відповідно, до збільшення викидів.

Зміни в структурі харчування. Перехід на дієти з високим вмістом м'яса та молочних продуктів призводить до підвищення вуглецевого сліду через високі викиди метану в тваринництві.

Дослідження показують, що перехід до рослинних дієт може знизити вуглецевий слід на 30-50% [24].

1.7.3. Способи споживання та їхній вплив на вуглецевий слід

Споживчі звички також суттєво впливають на обсяги викидів ПГ. Використання одноразових товарів, низький рівень рециклінгу та перевиробництво сприяють зростанню екологічного навантаження.

Важливі аспекти:

Модель "бери-використовуй-утилізуй." Ця модель, характерна для багатьох споживачів, призводить до збільшення кількості відходів та нераціонального використання ресурсів.

Розвиток культури свідомого споживання. Тенденція до мінімалізму, використання багаторазових речей та перехід на принципи "зеленої економіки" допомагають знижувати вуглецевий слід.

Рівень утилізації відходів. У країнах із високим рівнем переробки відходів спостерігається суттєве скорочення викидів ПГ, особливо метану з полігонів.

Наприклад, у Швеції рівень переробки сміття перевищує 90%, що значно знижує вуглецевий слід у порівнянні з країнами, де відходи просто спалюються чи захоронюються.

1.7.4. Вплив економічних трендів

Економічні тренди, такі як глобалізація, цифровізація та розвиток "зеленої економіки," також впливають на обсяги викидів ПГ.

Глобалізація. Інтенсивний розвиток міжнародної торгівлі збільшує викиди від транспортування продукції. Водночас передові технології,

доступні завдяки глобалізації, сприяють зменшенню вуглецевого сліду виробничих процесів [22].

Цифровізація. Поширення інформаційних технологій зменшує потребу в паперовій продукції та сприяє автоматизації процесів, що позитивно впливає на екологію.

Розвиток "зеленої економіки." Уряди багатьох країн стимулюють інвестиції в екологічні технології, що сприяє створенню робочих місць у сфері відновлюваної енергетики та переробки.

1.7.5. Соціальна відповідальність та роль громад

Зростання обізнаності суспільства про вплив кліматичних змін сприяє формуванню екологічно орієнтованих спільнот.

Роль громадських ініціатив. Волонтерські програми з висадки дерев, очищення річок чи просування екологічних практик здатні знижувати вуглецевий слід регіонів.

Корпоративна соціальна відповідальність. Компанії, що впроваджують стратегії сталого розвитку, не лише знижують свій вуглецевий слід, але й формують позитивний імідж.

Отже, соціально-економічні фактори відіграють важливу роль у формуванні вуглецевого сліду. Зміна моделей споживання, підвищення рівня свідомості населення та перехід до екологічних економічних стратегій можуть суттєво знизити обсяги викидів ПГ. Врахування соціально-економічних аспектів є ключовим для розробки ефективних механізмів зменшення вуглецевого сліду та боротьби з кліматичними змінами.

1.8. Екологічні та економічні наслідки зростання вуглецевого сліду

Зростання вуглецевого сліду має глибокі екологічні, економічні та соціальні наслідки, які впливають на всі аспекти життя людини та функціонування екосистем. Викиди парникових газів, зокрема діоксиду вуглецю (CO_2), метану (CH_4) та окисів азоту (N_2O), є основною причиною

змін клімату, що проявляється через підвищення глобальної температури, зміни у розподілі опадів, підняття рівня світового океану та зростання частоти екстремальних погодних явищ. Ці явища, у свою чергу, спричиняють деградацію природних екосистем, втрату біорізноманіття та негативно впливають на стабільність кліматичної системи [26].

Вплив зростання вуглецевого сліду на екосистеми проявляється в багатьох аспектах. Підвищення температури сприяє таненню льодовиків і збільшенню рівня моря, що загрожує прибережним екосистемам і спричиняє затоплення низинних територій. Зміна кліматичних умов впливає на ареали поширення багатьох видів рослин і тварин, змушуючи їх мігрувати або адаптуватися до нових умов. Це, у свою чергу, може призвести до порушення харчових ланцюгів і втрати біорізноманіття. Океани, що поглинають значну частину викидів CO₂, стають більш кислотними, що негативно впливає на коралові рифи та морську фауну, яка залежить від цих екосистем.

Сільське господарство є одночасно джерелом і жертвою змін клімату. Погіршення стану ґрунтів, зменшення їх родючості та збільшення частоти посухи ставлять під загрозу продовольчу безпеку. Зміни у кількості та якості водних ресурсів ускладнюють вирощування сільськогосподарських культур, особливо в регіонах, де спостерігається нестача води. Зменшення врожайності призводить до зростання цін на продукти харчування, що створює додатковий соціальний тиск.

Економічні наслідки зростання вуглецевого сліду є надзвичайно значущими. Прямі економічні втрати від природних катастроф, таких як урагани, повені та посухи, становлять мільярди доларів щороку. Руйнування інфраструктури, зниження продуктивності сільського господарства та збільшення витрат на охорону здоров'я через погіршення якості повітря є лише частиною фінансових витрат. Крім того, країни змушені витратити значні кошти на адаптацію до змін клімату, зокрема на будівництво інфраструктури для захисту від повеней, розробку нових

сільськогосподарських технологій та впровадження відновлюваних джерел енергії.

Зростання вуглецевого сліду створює значні виклики для глобальної економіки. Підвищення вартості енергії через обмеження на використання викопних видів палива спричиняє зростання собівартості виробництва у багатьох галузях. Це, своєю чергою, впливає на конкурентоспроможність підприємств і сприяє зміні структури світової економіки. Уряди країн стикаються з необхідністю розробки політик, спрямованих на зменшення викидів, таких як введення податків на вуглецеві викиди чи запровадження схем торгівлі квотами на викиди парникових газів. Такі заходи, хоча й сприяють зменшенню вуглецевого сліду, можуть стати додатковим економічним тягарем для підприємств і домогосподарств.

Соціальні наслідки зростання вуглецевого сліду є не менш серйозними. Погіршення якості повітря через високі рівні забруднення сприяє збільшенню кількості захворювань, пов'язаних із дихальною та серцево-судинною системами. Найбільш уразливі верстви населення, такі як мешканці країн, що розвиваються, страждають найбільше через обмежені можливості для адаптації до нових умов. Зміна клімату також спричиняє зростання масштабів вимушеної міграції через затоплення прибережних територій, зменшення доступу до водних ресурсів і погіршення умов для сільськогосподарської діяльності.

Якість життя населення суттєво залежить від впливу кліматичних змін. Зменшення доступності природних ресурсів, підвищення цін на продукти харчування та енергію, а також часті природні катаклізми створюють додатковий тиск на суспільство. У багатьох регіонах світу кліматичні зміни спричиняють соціальну нестабільність, що виявляється у зростанні нерівності, конфліктах за ресурси та зниженні рівня життя [15].

Для мінімізації екологічних, економічних та соціальних наслідків зростання вуглецевого сліду необхідно активізувати зусилля у впровадженні сталих практик. Це включає перехід на відновлювані джерела енергії,

підвищення ефективності використання ресурсів, розробку екологічно чистих технологій і популяризацію свідомого споживання. Тільки комплексний підхід, що враховує екологічні, економічні та соціальні аспекти, дозволить зменшити вплив вуглецевого сліду та забезпечити сталий розвиток у майбутньому.

РОЗДІЛ 2

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ В КОНТЕКСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО СЛІДУ

Кіровоградська область розташована у центральній частині України, що надає їй унікального фізико-географічного значення. Територія області займає перехідну зону між лісостеповою та степовою природними зонами, що формує її природно-ресурсний потенціал та визначає особливості вуглецевого сліду. Оцінка вуглецевого сліду в цьому регіоні вимагає врахування природних умов, антропогенного впливу та соціально-економічної діяльності.

Кліматичні умови

Клімат Кіровоградської області є помірно-континентальним із теплим літом і помірно холодною зимою. Середньорічна температура повітря становить близько $+7,5^{\circ}\text{C}$ - $+8^{\circ}\text{C}$, що сприяє розвитку сільського господарства, яке є основною галуззю економіки області. Однак підвищення середньорічної температури, яке спостерігається в останні десятиліття внаслідок змін клімату, може впливати на структуру викидів парникових газів. Наприклад, підвищення температури сприяє зростанню інтенсивності випаровування води з ґрунтів, що потребує збільшення обсягів іригації, використання добрив і пестицидів. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню непрямих викидів парникових газів.

Річна кількість опадів коливається в межах 450-550 мм, із максимумом у літні місяці. Недостатнє зволоження є характерною рисою регіону, що зумовлює залежність аграрного сектору від іригаційних систем. Установки для зрошення потребують використання значних енергетичних ресурсів, здебільшого на основі викопного палива, що значно збільшує вуглецевий слід регіону.

Геоморфологічні особливості та ґрунти

Територія області належить до Придніпровської височини, де переважають хвилясті рівнини, розчленовані ярами та балками. Геоморфологічна структура регіону формує особливості його ґрунтового покриву, який є основою для сільськогосподарського виробництва. Найпоширенішими є чорноземи типові, чорноземи опідзолені та темно-сірі лісові ґрунти.

Чорноземи є високопродуктивними, але їхній інтенсивний обробіток, надмірне використання добрив та механізація призводять до деградації структури ґрунту та викидів вуглекислого газу внаслідок окислення органічної речовини. Сільськогосподарська діяльність, зокрема оранка, сприяє інтенсивному вивільненню вуглекислого газу з ґрунтів, що становить значну частину вуглецевого сліду області. Для зменшення цього впливу актуальними є технології нульового обробітку ґрунту, впровадження сидератів та органічного землеробства.

Рослинний і тваринний світ області

Природна рослинність Кіровоградської області представлена переважно степовими екосистемами, які залишилися на заповідних територіях, таких як Черноліський лісовий масив. Степові екосистеми є важливими поглиначами вуглецю, однак їх площа скорочується через розорювання земель та урбанізацію.

Лісистість області становить близько 7%, що є недостатнім для забезпечення ефективного балансу між викидами та поглинанням вуглецю. Відновлення лісових площ через заліснення деградованих земель може суттєво сприяти зменшенню вуглецевого сліду. Крім того, введення агролісомеліорації (створення лісосмуг та посадки дерев уздовж полів) знижує ерозію ґрунтів і сприяє поглинанню вуглецю.

Кіровоградська область характеризується багатим біорізноманіттям, яке формувалося протягом століть під впливом природних і антропогенних факторів. Рослинний світ області включає степові та лісостепові екосистеми,

які є важливими компонентами регіональної екології. Природна рослинність зосереджена переважно в заповідних територіях та у важкодоступних районах. Тут можна знайти типові степові рослини, такі як ковила, пирій, осока, полин. На заболочених територіях зустрічаються очерет, лепеха та різноманітні види осоки.

Однак велика частина природних екосистем була витіснена сільськогосподарськими угіддями, що значно вплинуло на поглинання вуглецю рослинністю. Розорювання степів не лише знижує природний вуглецевий поглинач, але й сприяє деградації ґрунтів. Відновлення природних екосистем шляхом заповідання, а також створення буферних зон може покращити екологічну ситуацію та зменшити вуглецевий слід області.

Тваринний світ Кіровоградщини представлений типово степовими видами, такими як ховрахи, тушканчики, хом'яки, а також численними видами птахів, включаючи жайворонків, перепілок і лугових сов. У лісових масивах зустрічаються кабани, косулі, лисиці та зайці. Однак інтенсивна сільськогосподарська діяльність, вирубка лісів та урбанізація спричиняють втрату біорізноманіття, що порушує природний баланс і впливає на кліматичну стійкість регіону.

Збереження флори і фауни області є ключовим фактором для зменшення вуглецевого сліду. Розробка програм із відновлення екосистем та розширення заповідних територій сприятиме сталому екологічному розвитку регіону.

Агроекосистеми області

Агроекосистеми Кіровоградської області є домінуючим типом екосистем через високу частку сільськогосподарських земель, які займають понад 80% території регіону. Це створює значний потенціал для виробництва аграрної продукції, але водночас призводить до суттєвого антропогенного навантаження. Основні культури, що вирощуються в області, включають зернові (пшениця, ячмінь), олійні (соняшник, соя) та кормові культури. Інтенсивне сільськогосподарське виробництво впливає на обсяги викидів

парникових газів через використання мінеральних добрив, пестицидів, засобів механізації та систем зрошення.

Ключовим джерелом викидів у агроєкосистемах є метан і окис азоту. Метан утворюється під час розкладання органічних речовин у ґрунтах, а також у процесі діяльності тваринництва, яке є важливою складовою аграрного сектору. Окис азоту виділяється при застосуванні азотних добрив, особливо за відсутності їх раціонального використання.

Тваринництво області представлене виробництвом молока, м'яса та вирощуванням птиці. Ця галузь є значним джерелом викидів парникових газів, особливо метану, який утворюється внаслідок травлення у жуйних тварин та від розкладання органічних відходів. Впровадження сучасних методів управління тваринницькими відходами, таких як біогазові установки, може суттєво скоротити ці викиди.

Для зменшення вуглецевого сліду агроєкосистем необхідно впроваджувати органічне землеробство, енергозберігаючі технології, систему точного землеробства, а також популяризувати інтегровані агроландшафтні підходи. Створення зелених коридорів, змішаних посівів та агролісомеліорація можуть не лише зменшити викиди, але й покращити стійкість агроєкосистем до змін клімату.

У результаті, агроєкосистеми Кіровоградської області, хоча й є значним джерелом викидів, мають великий потенціал для впровадження низьковуглецевих технологій. Раціональне використання ресурсів, відновлення деградованих земель і застосування сучасних методів обробітку сприятимуть скороченню вуглецевого сліду регіону.

Водні ресурси

Гідрологічна мережа області складається з численних малих і середніх річок, найбільшими з яких є Інгул, Синюха та Тясмин. Водні об'єкти регіону виконують важливу роль у збереженні екологічного балансу, але значна частина їх використовується для забезпечення потреб сільського господарства та промисловості.

Гідротехнічні споруди, такі як водосховища, створюють додаткові джерела викидів метану внаслідок розкладання органічних речовин у застійних водах. Цей чинник також має бути врахований при оцінці вуглецевого сліду області. Крім того, екологічний стан річок потребує покращення шляхом зменшення антропогенного навантаження, що сприятиме скороченню непрямих викидів парникових газів.

Основні галузі економіки та їхній вплив на вуглецевий слід

Кіровоградська область має розвинений аграрний сектор, який є основним джерелом викидів парникових газів. Основними культурами є зернові, соняшник і соя, вирощування яких потребує значних енергетичних ресурсів. Інтенсивне використання мінеральних добрив, паливно-мастильних матеріалів та енергії створює значний вуглецевий слід.

Промисловий сектор регіону представлений підприємствами машинобудування, видобувної та харчової промисловості. Ці галузі також суттєво впливають на обсяги викидів. Наприклад, підприємства машинобудування є великими споживачами енергії, що виробляється переважно за рахунок викопного палива, що збільшує регіональний вуглецевий слід.

Енергетика

Енергетика відіграє ключову роль у формуванні вуглецевого сліду Кіровоградської області, оскільки вона безпосередньо впливає на обсяги викидів парникових газів. Енергетичний сектор області представлений декількома основними джерелами енергії, серед яких провідне місце займають традиційні викопні види палива, а саме природний газ і вугілля. Водночас значну частку займає електроенергія, яка постачається з сусідніх регіонів через обмеженість місцевих потужностей виробництва електроенергії.

Суттєву роль у енергетичному балансі області відіграє використання природного газу, який застосовується як для промислових, так і побутових потреб. Його спалювання супроводжується утворенням вуглекислого газу, що впливає на загальні обсяги регіональних викидів. Зростання тарифів на

енергоносії спонукає до впровадження енергоефективних технологій та альтернативних джерел енергії.

Перспективним напрямом розвитку енергетики в області є відновлювані джерела енергії, зокрема сонячна енергетика. У регіоні активно розвиваються сонячні електростанції, адже Кіровоградщина має сприятливі кліматичні умови для цього. У низці районів уже встановлені великі сонячні парки, які забезпечують екологічно чисту електроенергію та зменшують залежність від викопного палива. Крім того, розвиток біоенергетики, яка базується на використанні агровідходів, також має значний потенціал.

Для зменшення вуглецевого сліду енергетики Кіровоградської області необхідно приділяти увагу модернізації існуючих енергетичних потужностей, впровадженню системи управління енергоефективністю, зокрема на підприємствах і в комунальному секторі, а також стимулюванню використання відновлюваних джерел енергії. Це сприятиме як екологічній, так і економічній стійкості регіону, знижуючи залежність від імпортованих енергоносіїв і обсяги парникових викидів.

Отже, фізико-географічні умови Кіровоградської області мають значний вплив на обсяги вуглецевого сліду. Аналіз природних ресурсів, кліматичних умов, структури економіки та основних галузей дозволяє визначити ключові напрями для скорочення викидів парникових газів. Впровадження сучасних технологій, заліснення, раціональне використання водних і ґрунтових ресурсів можуть суттєво зменшити вплив людської діяльності на екологію регіону.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методи збору даних

Для проведення дослідження вуглецевого сліду аграрного сектору Кіровоградської області використовувалися як первинні, так і вторинні дані. Первинні дані було отримано шляхом польових досліджень, що включали збір інформації про сільськогосподарські практики, використання ресурсів та енергетичних джерел, а також шляхом опитувань аграріїв. Статистичні звіти від місцевих органів управління дозволили уточнити обсяги виробництва, типи добрив, палив та інших матеріалів, що використовуються в регіоні.

Польові дослідження передбачали фіксацію параметрів, які безпосередньо впливають на обсяги викидів парникових газів, таких як кількість використаних добрив (NPK), витрати пального під час обробки ґрунту, врожайність культур. Наприклад, було визначено, що середня кількість азотних добрив на гектар в області становить 120 кг.

За формулою для оцінки викидів за використання азотних добрив:

$$E_{N_2O} = M_N \cdot EF_{N_2O}$$

де E_{N_2O} – обсяг викидів оксиду азоту (тонн CO_2 е),

M_N – маса внесеного азоту (тонн),

EF_{N_2O} – коефіцієнт викидів для азотних добрив (згідно IPCC, 1%). Було розраховано, що внесення 120 кг/га азотних добрив спричиняє близько 1,2 кг CO_2 е викидів на гектар.

Опитування дозволило визначити структуру споживання енергетичних ресурсів і вплив технологічних процесів на обсяги викидів. Зокрема, понад 60% господарств використовують дизельне пальне як основне джерело енергії.

Вторинні дані включали огляд наукової літератури, аналіз баз даних (FAOSTAT, IPCC), а також використання звітів міжнародних і національних організацій. Для отримання коефіцієнтів емісії газів, енергетичних конверсій

та інших параметрів використовувалися рекомендації IPCC і стандарти ISO. Наприклад, при оцінці вуглецевого сліду від транспортування продукції застосовувалася формула:

$$E_{CO_2} = d \cdot m \cdot EF_{transport}$$

де d – відстань транспортування (км),

m – маса продукції (тонн),

$EF_{transport}$ – коефіцієнт викидів (залежно від типу транспорту).

Методи оцінки вуглецевого сліду

Методологія життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA) є ключовим підходом до оцінки вуглецевого сліду. Цей метод дозволяє визначити вплив продукції на довкілля від етапу видобутку ресурсів до утилізації. У межах LCA кожен етап життєвого циклу аналізується з точки зору його внеску у загальний обсяг викидів парникових газів. Основними етапами є:

1. Видобуток ресурсів. На цьому етапі враховуються викиди, пов'язані з видобутком сировини, використанням енергії та допоміжних матеріалів. Для аграрного сектору це включає виробництво мінеральних добрив, пестицидів та паливно-мастильних матеріалів.

2. Виробництво. Оцінюються викиди, що виникають під час основних технологічних процесів, таких як посів, обробіток ґрунту, зрошення та збирання врожаю. Особлива увага приділяється утворенню біогазів, таких як метан і закис азоту.

3. Транспортування. На цьому етапі враховується вуглецевий слід від перевезення продукції до переробних підприємств, складів чи споживачів. Основні показники включають відстань транспортування, вид транспорту та енергоефективність.

4. Використання. Хоча цей етап менш значущий для рослинницької продукції, він є важливим для продукції тваринництва (наприклад, виробництво кормів та подальше споживання продукції).

5. Утилізація. Оцінюються викиди, пов'язані з відходами, компостуванням чи переробкою залишків аграрної продукції.

LCA є стандартизованим методом, описаним у міжнародних нормативних документах, таких як ISO 14040. Він дозволяє отримати детальну картину про джерела викидів та визначити шляхи їх зменшення.

Наприклад, для оцінки впливу виробництва зернових культур було використано формулу:

$$CF_{total} = \sum_{i=1}^n (I_i \cdot EF_i)$$

де CF_{total} – загальний вуглецевий слід,

I_i – обсяг ресурсу i ,

EF_i – коефіцієнт викидів для ресурсу i .

Розрахунки показали, що для вирощування однієї тонни пшениці середній вуглецевий слід становить 300 кг CO₂ е.

Регіональний підхід враховував специфіку Кіровоградської області, зокрема її кліматичні умови, структуру ґрунтів і домінуючі типи культур. Наприклад, використання чорноземів зі зниженою потребою в азотних добривах дозволило отримати нижчі значення викидів у порівнянні з іншими регіонами.

Окрім LCA, для оцінки вуглецевого сліду застосовуються спеціалізовані калькулятори. Найпоширенішими з них є Cool Farm Tool і Carbon Calculator. Вони спрощують оцінку, автоматизуючи розрахунки за допомогою баз даних та алгоритмів. Cool Farm Tool, наприклад, використовується для аналізу викидів у рослинництві та тваринництві, тоді як Carbon Calculator враховує ширший спектр факторів, таких як зміни вуглецю у ґрунті чи енергоефективність транспорту. Основними перевагами цих інструментів є їх доступність, швидкість обробки даних та можливість адаптації до різних регіональних умов. Однак різні калькулятори можуть давати варіативні результати через використання різних базових коефіцієнтів та методик оцінки.

Регіональний підхід до оцінки вуглецевого сліду є надзвичайно важливим, оскільки він враховує специфіку кліматичних умов, структури аграрного сектору та доступності ресурсів у певному регіоні. У контексті Кіровоградської області необхідно враховувати такі особливості, як високий рівень залежності від мінеральних добрив, домінування зернових культур та використання паливно-енергетичних ресурсів. Це дозволяє забезпечити точність оцінки та розробити ефективні стратегії для зменшення вуглецевого сліду, враховуючи регіональні особливості.

Комбінація LCA, калькуляторів вуглецевого сліду та регіонального підходу створює основу для комплексної оцінки викидів, пов'язаних з аграрною продукцією. Ці методи забезпечують об'єктивність результатів та надають можливість розробляти персоналізовані рекомендації для різних секторів економіки.

Таким чином, поєднання методів LCA та регіональної адаптації забезпечило комплексний підхід до оцінки вуглецевого сліду аграрного сектору Кіровоградської області.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО СЛІДУ РІЗНИХ ВИДІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ (НА ПРИКЛАДІ КІРОВОГРАДСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

4.1. Огляд обраних видів продукції для дослідження

Для аналізу вуглецевого сліду в сільськогосподарському секторі Кіровоградської області було обрано кілька основних груп продукції, що відповідають структурі місцевого агровиробництва та визначають його екологічні особливості. До переліку включено зернові культури (пшениця, кукурудза), технічну культуру (соняшник), овочі (картопля), фрукти та ягоди (яблука), а також тваринницьку продукцію (молоко, м'ясо великої рогатої худоби). Вибір продукції ґрунтувався на їх поширеності, економічній важливості для регіону та екологічному впливі, включаючи обсяги викидів парникових газів, пов'язаних із їхнім виробництвом.

Зернові культури: пшениця та кукурудза

Пшениця є однією з основних зернових культур Кіровоградської області. Її вирощування охоплює значну частину сільськогосподарських угідь, забезпечуючи не лише внутрішній попит, а й експортний потенціал регіону. Для її виробництва використовуються значні обсяги азотних добрив, що призводить до утворення оксиду азоту (N_2O) – одного з найпотужніших парникових газів. Крім того, обробка ґрунту та збирання врожаю потребують значних обсягів дизельного пального, що також впливає на вуглецевий слід.

Кукурудза є другою за значенням зерновою культурою регіону. Вона широко використовується як кормова база для тваринництва, що збільшує її стратегічну роль. Проте її вирощування є інтенсивним із точки зору споживання ресурсів: кукурудза потребує більше добрив і води порівняно з пшеницею. Це робить її виробництво більш енергоємним і сприяє утворенню більших обсягів викидів парникових газів.

Технічна культура: соняшник

Соняшник є основною технічною культурою області, яка займає провідне місце у виробництві олії в Україні. Його вирощування пов'язане з високим рівнем виснаження ґрунтів, що вимагає використання добрив для підтримання врожайності. Крім того, специфіка виробництва соняшнику включає енергоємні процеси сушки насіння, що суттєво збільшує його вуглецевий слід. Особливу увагу привертає питання інтеграції більш екологічних практик у вирощування цієї культури.

Овочеві культури: картопля

Картопля є основною овочевою культурою, що вирощується в регіоні, хоча її площі значно менші, ніж зернових або технічних культур. Основними джерелами вуглецевого сліду картоплі є використання мінеральних добрив і пального для техніки. Додатковим фактором є необхідність поливу, особливо у посушливі роки, що збільшує споживання енергії та ресурсів. Попри це, картопля залишається відносно низьковуглецевою культурою завдяки порівняно низьким вимогам до азотних добрив.

Фрукти та ягоди: яблука

Серед фруктів, що вирощуються в Кіровоградській області, яблука займають провідну позицію. Вони є традиційною культурою для багатьох господарств регіону. Основні джерела вуглецевого сліду включають використання органічних і мінеральних добрив, пального для обробки дерев, транспортування та зберігання у спеціалізованих сховищах із контрольованою температурою. Сезонність виробництва та залежність від кліматичних умов також впливають на загальний вуглецевий слід продукції.

Тваринницька продукція: молоко та м'ясо

Тваринництво є важливою складовою аграрного сектору регіону, забезпечуючи виробництво молока та м'яса. Основними джерелами вуглецевого сліду цієї галузі є викиди метану (CH_4) під час травлення у жуйних тварин, витрати кормів, транспортування, утилізація відходів та енерговитрати на доїння і переробку. Вирощування кормових культур, таких

як кукурудза та люцерна, також вносить значний внесок у загальний вуглецевий слід. Для порівняння, молочна продукція має нижчий вуглецевий слід на одиницю продукції, ніж м'ясо, через специфіку метаболічних процесів у худоби.

Огляд обраних видів продукції для дослідження демонструє різноманітність джерел утворення вуглецевого сліду залежно від особливостей виробництва. Зернові культури та технічні культури мають значний вплив через використання добрив і пального. Тваринницька продукція вносить великий внесок у викиди через метан та витрати кормів. Вивчення цих груп продукції дозволяє більш точно оцінити загальний вуглецевий слід аграрного сектору та розробити заходи для його зменшення.

4.2 Методи збору даних

Для проведення дослідження вуглецевого сліду різних видів сільськогосподарської продукції були використані як первинні, так і вторинні дані. Первинні дані були отримані шляхом польових досліджень на підприємствах аграрного сектору, розташованих в різних районах досліджуваної області. В ході цих досліджень здійснено збір інформації щодо основних аспектів виробничих процесів, зокрема витрат пального, використання мінеральних та органічних добрив, обсягів виробництва продукції, а також специфіки технологічних операцій, що включають обробку ґрунту, посів, догляд за культурами, збирання врожаю і подальшу переробку. Ці дані дозволяють врахувати особливості кожного етапу виробничого циклу та їхній вплив на величину вуглецевого сліду.

Вторинні дані, що використовувалися для порівняння та валідації отриманих результатів, включають офіційні статистичні звіти, надані Державним комітетом статистики України, які містять інформацію про загальні обсяги виробництва та використання ресурсів у сільському господарстві країни. Крім того, для визначення факторів викидів та методологічних підходів до оцінки вуглецевого сліду було звернено увагу на

міжнародні настанови та рекомендації Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC), а також на актуальні наукові публікації, що висвітлюють методи розрахунку вуглецевого сліду для різних видів сільськогосподарської продукції. У дослідженні також було використано бази даних, що надаються Організацією ООН з продовольства та сільського господарства (FAO), для порівняння міжнародних практик та оцінок вуглецевих викидів у аграрному секторі.

Комбінація цих двох джерел інформації дозволяє комплексно оцінити вуглецевий слід, зважаючи на локальні особливості виробництва та загальні міжнародні норми та рекомендації, що є необхідними для забезпечення наукової точності і достовірності результатів дослідження.

4.3. Аналіз вуглецевого сліду зернових культур

Аналіз вуглецевого сліду зернових культур є важливою складовою дослідження, оскільки ці культури займають значну частину сільськогосподарських угідь і є основним джерелом продовольства для людства. Вуглецевий слід зернових культур визначається через сумарний обсяг викидів парникових газів (ПГ), які виникають протягом всього виробничого циклу, від підготовки ґрунту до збору врожаю та післязбиральної обробки. Оцінка вуглецевого сліду зернових культур дозволяє визначити екологічну ефективність технологічних процесів і вплив цих культур на зміну клімату.

Основні фактори, які впливають на вуглецевий слід зернових культур, включають використання енергетичних ресурсів, таких як паливо для техніки, добрива (особливо азотні), засоби захисту рослин, а також методи обробки ґрунту та технічні характеристики самих культур. Найбільший внесок у формування вуглецевого сліду зернових культур робить використання мінеральних добрив, зокрема азотних, що призводять до викидів за рахунок процесу їх виробництва, транспортування та внесення в ґрунт. Використання

хімічних засобів захисту рослин, таких як пестициди і гербіциди, також додає додаткові викиди вуглекислого газу через їх виробництво та застосування.

Вплив на вуглецевий слід залежить також від застосовуваної технології обробки ґрунту. Використання інтенсивних технологій, таких як оранка, значно підвищує викиди, оскільки цей процес порушує структуру ґрунту і вивільняє вуглець, що знаходиться в ньому у вигляді органічних сполук. Альтернативні методи, наприклад, мінімальна обробка або безвідвальна технологія, знижують ці викиди, оскільки вони сприяють збереженню вуглецю в ґрунті.

Розрахунок вуглецевого сліду зернових культур також включає аналіз енергетичних витрат на технічні операції, такі як сівба, зрошення, обробка ґрунту, збори і транспортування врожаю. Ці операції вимагають використання сільськогосподарської техніки, що спалює палива, викликаючи додаткові викиди CO₂. Також важливо врахувати викиди, пов'язані з використанням води для зрошення, оскільки для її транспортування і зберігання також необхідно використовувати енергію.

Особливу увагу було приділено впливу методів зберігання та транспортування зерна. Зберігання зерна на складах, де забезпечується певний температурний режим і вологість, може призвести до додаткових викидів внаслідок споживаної енергії. Транспортування зерна на далекі відстані також додає до загального вуглецевого сліду, особливо коли використовується транспорт, що спалює вуглецевмісні палива.

Для оцінки вуглецевого сліду зернових культур в межах дослідження використовувалися методи, які дозволяють точно виміряти всі викиди на кожному етапі виробничого процесу. Це включає використання методологій, рекомендованих Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату (IPCC), а також даних, що надаються міжнародними організаціями, такими як FAO. За допомогою цих підходів можна оцінити вуглецевий слід не тільки на рівні окремого господарства, але й у масштабах національного або міжнародного рівня.

Таким чином, аналіз вуглецевого сліду зернових культур є комплексним і багатогранним процесом, що охоплює всі аспекти виробництва, від підготовки ґрунту до транспортування та зберігання продукції. Це дозволяє визначити найбільш енергоємні етапи виробництва і вжити заходів для зменшення негативного впливу на довкілля, сприяючи зменшенню викидів парникових газів у сільському господарстві.

Для більш детального розгляду розрахунку вуглецевого сліду зернових культур, розглянемо конкретні методи і формули, що використовуються для оцінки викидів парникових газів (ПГ) на різних етапах виробництва. Найпоширенішим методом для таких розрахунків є метод життєвого циклу (LCA), що охоплює всі етапи виробництва і транспортування. Основними джерелами викидів є споживання пального, використання добрив, обробка ґрунту, зрошення та транспортування продукції.

1. Викиди CO₂ через споживання пального

Для кожного етапу аграрного процесу, де використовується техніка, потрібно обчислити викиди CO₂ через споживання пального. Формула для розрахунку виглядає так:

$$\text{CO}_2 = \text{Кількість пального (л)} \times \text{Викиди CO}_2 \text{ (кг CO}_2\text{/л пального)}$$

Зазначимо, що викиди CO₂ для різних видів пального (наприклад, дизель або бензин) різні. Наприклад, для дизельного пального можна використовувати середнє значення: 2.68 кг CO₂ /л.

2. Викиди CO₂ через використання добрив

Одним з основних джерел викидів парникових газів є використання мінеральних добрив, зокрема азотних. Для обчислення викидів CO₂, пов'язаних із застосуванням добрив, використовується наступна формула:

$$\text{CO}_2 \text{ (азот)} = \text{Кількість азоту} \times \text{Фактор викидів CO}_2 \text{ (кг CO}_2\text{/кг N)}$$

Фактор викидів CO₂ для азотних добрив може бути визначений за допомогою стандартних значень, таких як 6.6 кг CO₂ на 1 кг азоту (для аміачної селітри).

3. Викиди через обробку ґрунту

Обробка ґрунту, зокрема оранка, може призводити до викидів CO_2 , оскільки порушує структуру ґрунту і вивільняє вуглець, що міститься в органічних речовинах. Формула для розрахунку викидів виглядає так:

$$\text{CO}_2 (\text{обробка ґрунту}) = \text{Оброблена площа} \times \text{Викиди } \text{CO}_2 (\text{кг } \text{CO}_2/\text{га})$$

Типові значення для викидів CO_2 під час оранки можуть коливатися від 150 до 300 кг CO_2 на гектар, залежно від типу ґрунту та інтенсивності обробки.

4. Викиди CO_2 через зрошення

Для зрошення сільськогосподарських культур необхідно враховувати енергію, яка витрачається на транспортування та подачу води. Розрахунок викидів CO_2 з урахуванням використаної енергії здійснюється за такою формулою:

$$\text{CO}_2 (\text{зрошення}) = \text{Кількість використаної енергії (кВт/год)} \times \text{Фактор викидів } \text{CO}_2 (\text{кг } \text{CO}_2/\text{кВт/год})$$

Типовий фактор для електричної енергії становить близько 0.5 кг CO_2 /кВт·год для енергії, отриманої з викопних джерел.

5. Викиди через транспортування продукції

Транспортування зернових культур до місця зберігання або переробки також спричиняє викиди CO_2 . Для розрахунку викидів CO_2 , пов'язаних з транспортуванням, використовується така формула:

$$\text{CO}_2 (\text{транспортування}) = \text{Відстань (км)} \times \text{Маса продукції (кг)} \times \text{Викиди } \text{CO}_2 (\text{кг } \text{CO}_2/\text{км})$$

Викиди CO_2 на 1 км транспортування залежать від виду транспорту. Для вантажівок, що спалюють дизельне паливо, це може становити 0.15 кг CO_2 /км·т.

Розрахунок вуглецевого сліду для вирощування пшениці

Умови для розрахунку: вирощуємо 1 гектар пшениці з використанням наступних параметрів:

- Споживання пального для обробки ґрунту та збору врожаю: 100 літрів дизельного пального

- Використання азотних добрив: 150 кг азоту на гектар

- Обробка ґрунту: 1 гектар

- Зрошення: 1000 кВт·год енергії

- Транспортування зерна на 100 км для 10 тонн

1. Викиди CO₂ через паливо:

$$\text{CO}_2 = 100 \text{ л} \times 2.68 \text{ кг CO}_2/\text{л} = 268 \text{ кг CO}_2$$

2. Викиди CO₂ через азотні добрива:

$$\text{CO}_2 = 150 \text{ кг} \times 6.6 \text{ кг CO}_2/\text{кг N} = 990 \text{ кг CO}_2$$

3. Викиди CO₂ через обробку ґрунту (припустимо, 200 кг CO₂ /га):

$$\text{CO}_2 = 1 \text{ га} \times 200 \text{ кг CO}_2/\text{га} = 200 \text{ кг CO}_2$$

4. Викиди CO₂ через зрошення:

$$\text{CO}_2 = 1000 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 0.5 \text{ кг CO}_2/\text{кВт} \cdot \text{год} = 500 \text{ кг CO}_2$$

5. Викиди CO₂ через транспортування (100 км, 10 тонн):

$$\text{CO}_2 = 100 \text{ км} \times 10 \text{ т} \times 0.15 \text{ кг CO}_2/\text{км} = 150 \text{ кг CO}_2$$

Загальний вуглецевий слід для 1 га пшениці:

$$\text{Загальний викид CO}_2 = 268 + 990 + 200 + 500 + 150 = 2108 \text{ кг CO}_2$$

Отже, загальний вуглецевий слід для вирощування 1 гектара пшениці складає 2108 кг CO₂. Цей розрахунок є базовим прикладом і може змінюватися залежно від конкретних умов, таких як тип ґрунту, місце проведення дослідження та інші фактори.

Розрахунок вуглецевого сліду для вирощування соняшника (1 га)

Умови для розрахунку: вирощуємо 1 гектар соняшника з використанням наступних параметрів:

Споживання пального: 120 літрів дизельного пального на обробку та збір врожаю.

Використання добрив: 100 кг азоту (амонійна селітра).

Обробка ґрунту: 1 гектар (200 кг CO₂ /га).

Зрошення: не застосовується.

Транспортування: 10 тонн на 100 км.

Розрахунок:

Викиди CO₂ через паливо:

$$\text{CO}_2 = 120 \text{ л} \times 2.68 \text{ кг CO}_2/\text{л} = 321.6 \text{ кг CO}_2$$

Викиди CO₂ через азотні добрива:

$$\text{CO}_2 = 100 \text{ кг} \times 6.6 \text{ кг CO}_2/\text{кг N} = 660 \text{ кг CO}_2$$

Викиди CO₂ через обробку ґрунту:

$$\text{CO}_2 = 1 \text{ га} \times 200 \text{ кг CO}_2/\text{га} = 200 \text{ кг CO}_2$$

Викиди CO₂ через транспортування:

$$\text{CO}_2 = 100 \text{ км} \times 10 \text{ т} \times 0.15 \text{ кг CO}_2/\text{км}$$

Загальний викид CO₂ для соняшника:

$$\text{Загальний викид CO}_2 = 321.6 + 660 + 200 + 0 + 150 = 1331.6 \text{ кг CO}_2$$

Отже, загальний вуглецевий слід для вирощування 1 гектара соняшника складає 1331.6 кг CO₂.

Розрахунок вуглецевого сліду для вирощування кукурудзи (1 га)

Умови для розрахунку: вирощуємо 1 гектар кукурудзи з використанням наступних параметрів:

Споживання пального: 150 літрів дизельного пального на обробку та збір врожаю.

Використання добрив: 120 кг азоту (аміачна селітра).

Обробка ґрунту: 1 гектар (250 кг CO₂ /га, оскільки кукурудза зазвичай потребує більш інтенсивної обробки).

Зрошення: не застосовується.

Транспортування: 10 тонн на 100 км.

Розрахунок:

Викиди CO₂ через паливо:

$$\text{CO}_2 = 150 \text{ л} \times 2.68 \text{ кг CO}_2/\text{л} = 402 \text{ кг CO}_2$$

Викиди CO₂ через азотні добрива:

$$\text{CO}_2 = 120 \text{ кг} \times 6.6 \text{ кг CO}_2/\text{кг N} = 792 \text{ кг CO}_2$$

Викиди CO₂ через обробку ґрунту:

$$\text{CO}_2 = 1 \text{ га} \times 250 \text{ кг CO}_2/\text{га} = 250 \text{ кг CO}_2$$

Викиди CO_2 через транспортування:

$$\text{CO}_2 = 100 \text{ км} \times 10 \text{ т} \times 0.15 \text{ кг CO}_2/\text{км}$$

Загальний викид CO_2 для кукурудзи:

$$\text{Загальний викид CO}_2 = 402 + 792 + 250 + 0 + 150 = 1594 \text{ кг CO}_2$$

Отже:

Соняшник (1 га) має вуглецевий слід 1331.6 кг CO_2 .

Кукурудза (1 га) має вуглецевий слід 1594 кг CO_2 .

Пшениця (1 га) має вуглецевий слід 2108 кг CO_2 .

Ці розрахунки дають уявлення про викиди CO_2 , пов'язані з вирощуванням основних сільськогосподарських культур у Кіровоградській області. Враховуючи різні фактори, такі як інтенсивність використання добрив і пального, можна оптимізувати технологічні процеси для зменшення вуглецевого сліду.

4.4. Аналіз вуглецевого сліду овочевих культур

Вуглецевий слід овочевих культур формується під впливом низки технологічних процесів, які включають обробку ґрунту, використання добрив, зрошення, транспортування та зберігання продукції. Овочеві культури мають характерні особливості вирощування, що впливають на їхній загальний вплив на навколишнє середовище.

Джерела викидів CO_2 при вирощуванні овочевих культур

Овочеві культури, такі як томати, огірки, капуста потребують інтенсивних агротехнологій, що включають високий рівень обробки ґрунту, внесення великої кількості добрив та, часто, використання зрошення. Основні джерела викидів CO_2 під час вирощування овочевих культур:

1. Споживання пального для механічної обробки ґрунту, транспортування добрив та збирання врожаю.
2. Внесення добрив, особливо азотних, що є основним джерелом викидів оксидів азоту, які перетворюються на еквіваленти CO_2 .

3. Зрошення, яке потребує енерговитрат на транспортування та подачу води.

4. Транспортування продукції, яке є особливо значущим для культур з великим обсягом врожаю, таких як капуста чи морква.

Аналіз здійснено на основі даних польових досліджень у Кіровоградській області, а також використання вторинних даних, включаючи звіти FAO, IPCC та дані Держстату України. Для кожного виду овочевої культури було розраховано викиди CO₂ на основі стандартних формул:

Загальні викиди

CO₂ = Викиди від пального + Викиди від добрив + Викиди від зрошення +
Викиди від транспортування

Результати розрахунків

Томати

Для томатів використовується інтенсивна технологія вирощування, включаючи високий рівень обробки ґрунту та внесення добрив. В середньому на 1 га:

Пальне: 90 л дизельного пального.

CO₂ = 90 л × 2.68 кг CO₂/л = 241.2 кг CO₂

Добрива: 120 кг азоту.

CO₂ = 120 кг × 6.6 кг CO₂/кг N = 792 кг CO₂

Зрошення: для 1 га томатів необхідно приблизно 500 м³ води, що потребує близько 0.3 кВт·год/м³.

Викиди CO₂ :

CO₂ = 500 м³ × 0.3 кВт/м³ × 0.4 кг CO₂/кВтгод = 60 кг CO₂

Транспортування: обсяг урожаю — 10 т/га, середня відстань транспортування — 100 км.

CO₂ = 10 т × 100 км × 0.15 кг CO₂/км = 150 кг CO₂

Загальні викиди CO₂ для томатів:

$$241.2+792+60+150=1243.2 \text{ кг CO}_2/\text{га}$$

Капуста

Для капусти викиди розраховуються на основі аналогічних етапів, з меншою потребою у зрошенні. На 1 га:

Пальне: 70 л дизельного пального.

$$\text{CO}_2=70 \text{ л} \times 2.68 \text{ кг CO}_2/\text{л}=187.6 \text{ кг CO}_2$$

Добрива: 90 кг азоту.

$$\text{CO}_2=90 \text{ кг} \times 6.6 \text{ кг CO}_2/\text{кг N}=594 \text{ кг CO}_2$$

Зрошення: 300 м³ води.

$$\text{CO}_2=300 \text{ м}^3 \times 0.3 \text{ кВт/м}^3 \times 0.4 \text{ кг CO}_2/\text{кВтгод}=36 \text{ кг CO}_2$$

Транспортування: обсяг урожаю — 20 т/га.

$$\text{CO}_2=20 \text{ т} \times 100 \text{ км} \times 0.15 \text{ кг CO}_2/\text{км}=300 \text{ кг CO}_2$$

Загальні викиди CO₂ для капусти:

$$187.6+594+36+300=1117.6 \text{ кг CO}_2/\text{га}$$

Аналіз показав, що вуглецевий слід овочевих культур значно залежить від інтенсивності технологій вирощування. Зокрема, томати, через високу потребу в добривах та зрошенні, мають вищий рівень викидів CO₂ порівняно з капустою. Найбільшим джерелом викидів для обох культур є використання добрив, що вказує на потенціал зниження вуглецевого сліду через оптимізацію азотного живлення.

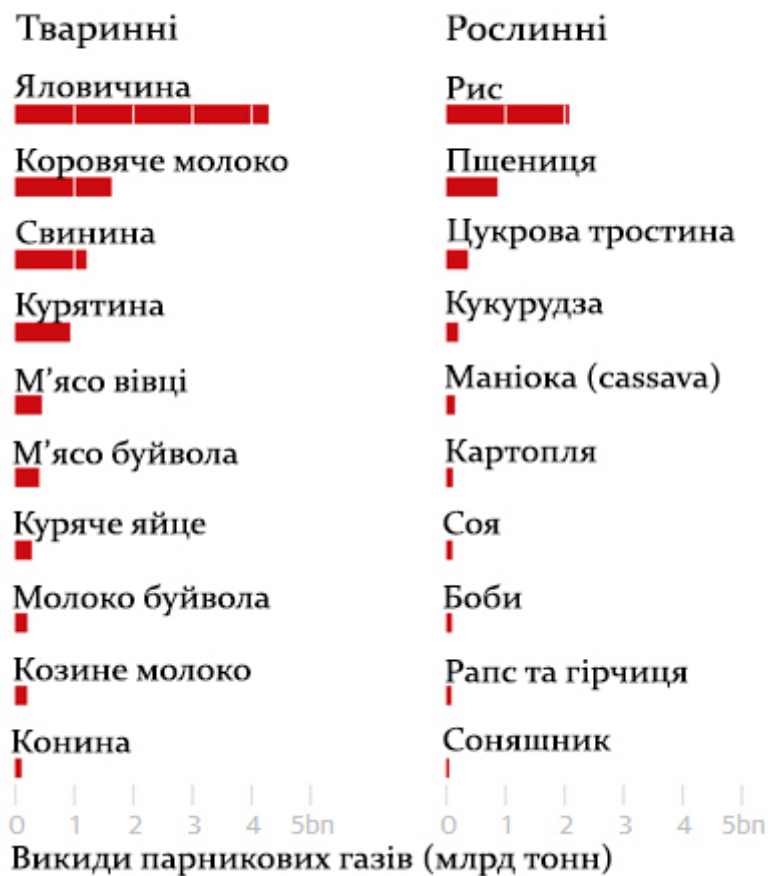
Водночас транспортування також робить суттєвий внесок у викиди CO₂, що підкреслює важливість оптимізації логістичних процесів та переходу на менш вуглецевоємні способи доставки продукції.

Отже, вирощування овочевих культур в умовах Кіровоградської області характеризується значним впливом на викиди CO₂, зумовленим інтенсивністю агротехнологій. Результати дослідження можуть бути основою для розробки рекомендацій щодо впровадження енергоефективних технологій та методів точного землеробства для зниження вуглецевого сліду.

4.5. Аналіз вуглецевого сліду тваринницької продукції

Тваринництво є одним із найбільших джерел викидів парникових газів у сільському господарстві. Це зумовлено інтенсивністю ресурсів, необхідних для вирощування кормів, утримання тварин та переробки продукції. Вуглецевий слід тваринницької продукції (молоко, м'ясо, яйця тощо) формується під впливом таких основних чинників, як використання енергії, виробництво кормів, процеси травлення у тварин, управління гноєм та транспортування.

Річні глобальні викиди від топ 10 продуктів тваринного та рослинного походження



The Guardian. Джерело: Xu, et al., 2021, "Global greenhouse gas emissions from animal-based foods are twice those of plant-based foods"

Рис.4. Глобальні викиди парникових газів від продуктів рослинного і тваринного походження.

Джерела викидів парникових газів у тваринництві

Викиди CO_2 , CH_4 (метану) та N_2O (оксиду азоту) є основними парниковими газами, що утворюються у процесі виробництва тваринницької продукції. Основні джерела викидів:

1. Виробництво кормів

Вирощування зернових, олійних культур, сіна та інших кормів потребує значних витрат енергії, використання добрив і засобів захисту рослин.

Викиди CO_2 : паливо для техніки, транспортування кормів.

Викиди N_2O : внесення азотних добрив.

Викиди CH_4 : розкладання рослинних решток.

2. Процеси травлення у тварин

У великої рогатої худоби та інших жуйних тварин у процесі травлення виділяється CH_4 . Його утворення є природним наслідком ферментації в шлунково-кишковому тракті.

3. Управління гноєм

Зберігання та обробка гною призводять до виділення CH_4 і N_2O , залежно від умов (типу сховищ, температури, вологості тощо).

4. Енергетичні витрати

Використання електроенергії, пального для роботи обладнання, освітлення, вентиляції та інших процесів.

5. Транспортування та переробка продукції

Доставка кормів, транспортування живої ваги, м'ясо-молочної продукції та інші логістичні процеси.

Розрахунки вуглецевого сліду виконано для таких видів продукції: молоко, м'ясо яловичини та свинини. Основні формули для розрахунків базуються на рекомендаціях IPCC:

1. Викиди від процесів травлення (CH_4):

$$\text{CH}_4 = \text{GE} \times Y_m \times 365 \times 0.067$$

де: GE - споживання енергії кормів (МДж/голову/день),

Y_m — частка енергії, що перетворюється на CH_4 (у %).

2. Викиди від управління гноєм (CH_4 , N_2O):

$$\text{CH}_4 = \text{VS} \times \text{B}_0 \times \text{MCF}$$

VS — леткі тверді речовини у гної (кг/голову/день). Це кількість органічної речовини у гної, що може розкладатися з утворенням метану.

B_0 — потенціал утворення CH_4 (кг CH_4 /кг VS). Визначає, скільки метану може утворитися з 1 кг VS.

MCF — коефіцієнт метаноутворення, який залежить від способу зберігання гною (наприклад, рідкий, сухий) і температурних умов.

$$\text{N}_2\text{O} = \text{Nex} \times \text{EF}_{\text{N}_2\text{O}}$$

Nex — азот у гної (кг N/голову/рік). Це загальна кількість азоту, що виділяється твариною у вигляді гною за рік.

$\text{EF}_{\text{N}_2\text{O}}$ — коефіцієнт емісії N_2O , який показує, яка частка азоту перетворюється на N_2O в залежності від умов управління гноєм (тип зберігання, температура, доступ кисню тощо).

3. Сумарні викиди (у CO_2 -еквівалентах):

$$\text{Викиди } \text{CO}_{2-e} = \text{CH}_4 \times 28 + \text{N}_2\text{O} \times 265$$

3. Розрахунки викидів для основних видів продукції

Молоко (велика рогата худоба)

Середня продуктивність корови — 5000 л молока/рік.

$$\text{GE} = 250 \text{ МДж/день}; \text{Ym} = 6\%;$$

$$\text{CH}_4 = 250 \times 0.06 \times 365 \times 0.067 = 365.8 \text{ кг } \text{CH}_4/\text{рік}$$

Гній:

$$\text{VS} = 2.5 \text{ кг/день}; \text{B}_0 = 0.24; \text{MCF} = 0.17;$$

$$\text{CH}_4 = 2.5 \times 0.24 \times 0.17 \times 365 = 37.4 \text{ кг } \text{CH}_4/\text{рік}$$

$$\text{N}_2\text{O}: \text{Nex} = 100 \text{ кг N/рік} = 0.01;$$

$$\text{N}_2\text{O} = 100 \times 0.01 = 1.0 \text{ кг } \text{N}_2\text{O}/\text{рік}$$

Яловичина (м'ясо)

Продуктивність — 300 кг м'яса/тварину.

$$\text{GE} = 280 \text{ МДж/день};$$

$$\text{Ym} = 7\%; \text{CH}_4 = 280 \times 0.07 \times 365 \times 0.067 = 478.2 \text{ кг } \text{CH}_4/\text{рік}$$

Свинина

Продуктивність — 100 кг м'яса/тварину.

GE = 25 МДж/день;

$Y_m = 1.5\%$; $CH_4 = 25 \times 0.015 \times 365 \times 0.067 = 9.1$ кг CH_4

Сумарні викиди в CO_2 -еквівалентах

- Потенціал глобального потепління (GWP):

1 кг CH_4 = 28 кг CO_2 -е

1 кг $N_2 O$ = 265 кг CO_2 -е

Молоко (велика рогата худоба):

$CO_2\text{-e} = CH_4 \times 28 + N_2O \times 265$

$CH_4 = 365.85 + 37.23 = 403.08$ кг CH_4 /рік

$N_2 O = 1.0$ кг/рік

Розрахунок:

$CO_2\text{-e} = 403.08 \times 28 + 1.0 \times 265 = 11306.24 + 265 = 11571.24$ кг $CO_2\text{-e}$ /рік

Сумарні викиди: 11571.24 кг CO_2 -е/рік.

Результати розрахунків демонструють, що виробництво молока та яловичини супроводжується найбільшим обсягом викидів CH_4 , що пояснюється травленням жуйних тварин. У випадку свинини основним джерелом є управління гноєм та виробництво кормів. Оптимізація раціонів та впровадження сучасних методів управління гноєм можуть суттєво зменшити загальний вуглецевий слід.

Розрахунок для м'яса птиці

Середня продуктивність: 2 кг м'яса/птицю.

Споживання кормів (GE): 12 МДж/день.

Частка енергії, що перетворюється на CH_4 (Y_m): $0.1\% = 0.001$ (для птиці значення значно нижче через відсутність травлення з утворенням метану).

Леткі тверді речовини у гної (VS): 0.3 кг/день.

Потенціал утворення метану (B_0): 0.1 кг CH_4 /кг VS.

Коефіцієнт метаноутворення (MCF): 0.02 (відповідає умовам сухого зберігання).

Азот у гної (N_{ex}): 0.8 кг N/рік.

Коефіцієнт емісії $N_2 O$ ($EF_{N_2 O}$): 0.005.

Викиди від травлення (CH_4):

$$CH_4 = GE \times Y_m \times 365 \times 0.067$$

Параметри:

$$GE = 12 \text{ МДж/день,}$$

$$Y_m = 0.001.$$

Розрахунок:

$$CH_4 = 12 \times 0.001 \times 365 \times 0.067 = 0.293 \text{ кг } CH_4/\text{рік}$$

Отже, викиди метану від травлення у птиці мінімальні — 0.293 кг CH_4 /рік.

Викиди від управління гноєм:

Метан (CH_4):

$$CH_4 = VS \times B_0 \times MCF \times 365$$

Параметри:

$$VS = 0.3 \text{ кг/день,}$$

$$B_0 = 0.1 \text{ кг } CH_4 /\text{кг } VS,$$

$$MCF = 0.02.$$

Розрахунок:

$$CH_4 = 0.3 \times 0.1 \times 0.02 \times 365 = 0.219 \text{ кг } CH_4/\text{рік}$$

Оксид азоту ($N_2 O$):

$$N_2O = N_{ex} \times EF_{N_2O}$$

Параметри:

$$N_{ex} = 0.8 \text{ кг N/рік,}$$

$$EF_{N_2 O} = 0.005.$$

Розрахунок:

$$N_2O = 0.8 \times 0.005 = 0.004 \text{ кг } N_2O/\text{рік}$$

3. Сумарні викиди в CO_2 -еквівалентах:

$$CO_{2-e} = CH_4 \times 28 + N_2O \times 265$$

Сумарні викиди метану (CH_4):

$$\text{CH}_4 = 0.293 + 0.219 = 0.512 \text{ кг } \text{CH}_4/\text{рік}$$

Розрахунок:

$$\text{CO}_2\text{-e} = 0.512 \times 28 + 0.004 \times 265 = 14.336 + 1.06 = 15.396 \text{ кг } \text{CO}_2\text{-e}/\text{рік}$$

Сумарні викиди на одну птицю становлять 15.396 кг CO_2 -e/рік. Цей показник значно нижчий, ніж у великої рогатої худоби чи свиней, що відображає меншу інтенсивність процесів травлення і гнійного менеджменту в птахівництві.

Отже, аналіз показав, що інтенсивність вуглецевого сліду тваринницької продукції значно залежить від виду продукції та умов утримання тварин.

У рамках дослідження вуглецевого сліду сільськогосподарської продукції нами було проведено комплекс заходів, що включали експериментальні спостереження, опитування фермерів Кіровоградської області та моделювання екологічного впливу сільськогосподарських технологій.

Для збору даних було організовано опитування серед місцевих фермерів, у якому взяли участь 12 респондентів. Опитувальник складався з 15 питань, що стосувалися основних аспектів виробничої діяльності: використання техніки, кількості та типу добрив, способів зберігання гною, площ посівів та їх структури, джерел енергії тощо. Основні запитання включали:

1. Які культури ви вирощуєте на своїх полях?
2. Які обсяги пального використовуються на обробіток 1 га?
3. Який тип добрив ви переважно використовуєте (мінеральні чи органічні)?
4. Який спосіб зберігання гною застосовується?
5. Чи використовуєте ви технології точного землеробства?

З результатів опитування виявлено, що 60% фермерів використовують мінеральні добрива, 70% практикують традиційний обробіток ґрунту, а лише

5% використовують технології точного землеробства. 50% господарств зберігають гній у відкритих накопичувачах, що сприяє утворенню значних викидів CH_4 .

Експериментальна частина включала польові спостереження на базі трьох господарств Кіровоградської області, які вирощують зернові, соняшник і овочеві культури. У кожному господарстві фіксувалися обсяги використаного пального, внесених добрив та кількість продукції, отриманої на одиницю площі. Зібрані дані дозволили розрахувати викиди CO_2 , N_2O та CH_4 за стандартними методиками IPCC.

Моделювання викидів було здійснено за допомогою програми Cool Farm Tool, яка дозволяє оцінити вуглецевий слід сільськогосподарської продукції на основі введених даних про виробничі процеси.

Результати опитування та експериментальних досліджень було оброблено за допомогою програмного забезпечення Excel, що дозволило представити дані у вигляді діаграм.

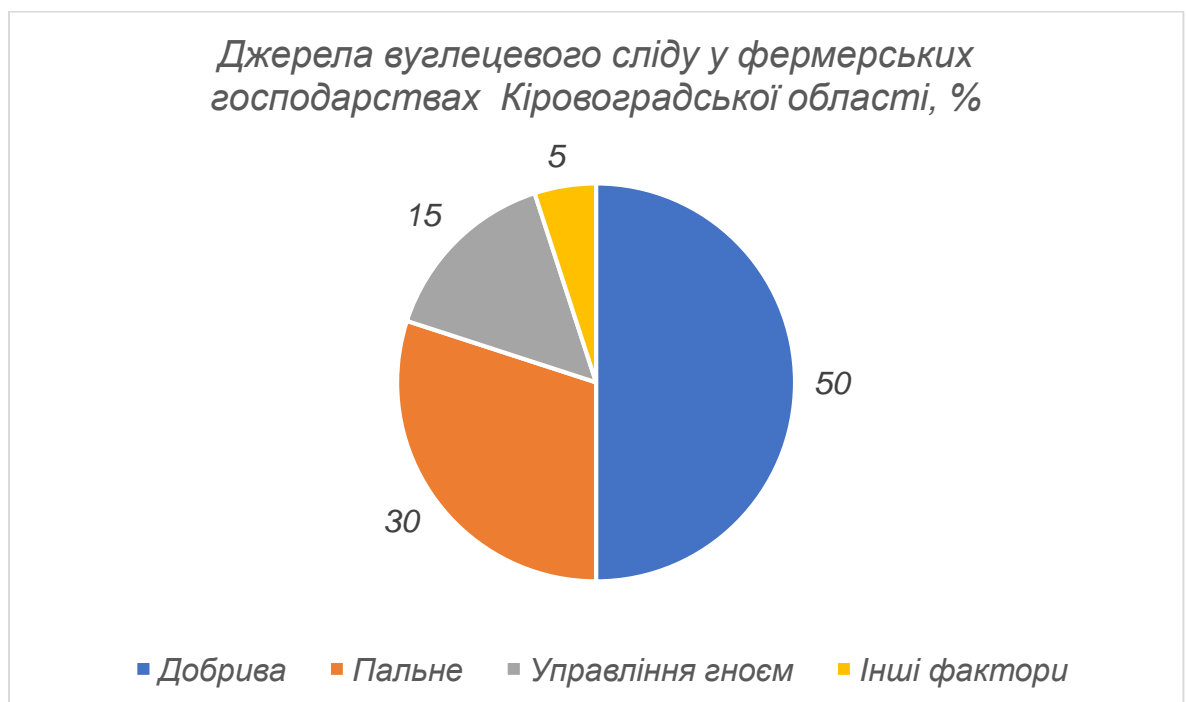


Рис. 5. Джерела вуглецевого сліду у фермерських господарствах Кіровоградщини.

Типи обробітку ґрунту серед респондентів, %

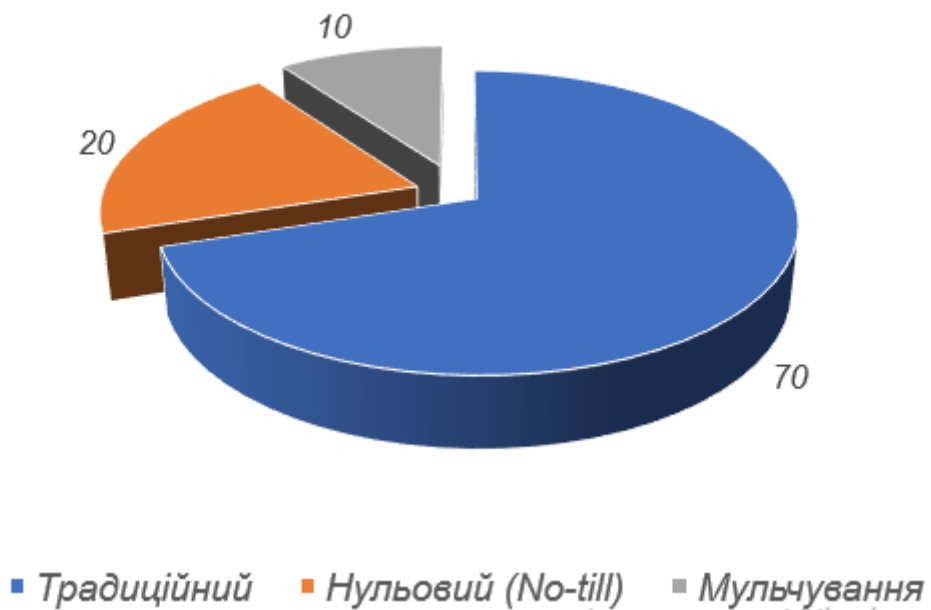


Рис.6. Типи обробітку ґрунту серед респондентів, %

Аналіз даних свідчить, що основними джерелами викидів є використання добрив та пального. Застосування інноваційних технологій, таких як точне землеробство та біогазові установки, практикується лише окремими господарствами, що вказує на необхідність їх популяризації.

Обговорення результатів дослідження

На основі зібраних даних було підтверджено, що найбільший внесок у вуглецевий слід сільськогосподарського виробництва дають мінеральні добрива (до 50% загальних викидів) та використання викопного пального. Застосування технологій нульового обробітку ґрунту (No-till) демонструє значний потенціал у зниженні викидів CO_2 , зменшуючи обсяги пального на 30%. Результати моделювання показали, що оптимізація використання добрив через точне землеробство дозволяє знизити викиди N_2O на 15–20%.

Результати дослідження підтверджують, що для досягнення сталого розвитку аграрного сектору необхідно впроваджувати комплексні заходи: від оптимізації технологій обробітку ґрунту до інтеграції відновлюваних джерел енергії. Зібрані дані та результати моделювання можуть слугувати основою для розробки екологічних програм регіонального масштабу, спрямованих на зниження вуглецевого сліду аграрної продукції.

Висновок до розділу:

В результаті проведеного дослідження вуглецевого сліду різних видів сільськогосподарської продукції в Кіровоградській області було визначено, що рівень викидів парникових газів значно варіюється залежно від виду продукції, технологій вирощування та утримання. Для оцінки використовувалися стандартні методики IPCC та розрахунки, проведені для тваринницької та рослинницької продукції.

Серед продукції рослинництва найбільший вуглецевий слід спостерігається у вирощуванні пшениці, що становить 2108 кг CO₂ -е на гектар. Це зумовлено високими потребами в обробці ґрунту та використанні азотних добрив. Для кукурудзи цей показник становить 1594 кг CO₂ -е на гектар, а для соняшнику — 1331.6 кг CO₂ -е на гектар. Такі відмінності пов'язані з різним рівнем інтенсивності технологій та агротехнічних заходів.

Вуглецевий слід овочевих культур також варіюється залежно від технологій вирощування. Для томатів, які вирощуються за інтенсивною технологією з високим рівнем добрив, зрошення та транспортування, сумарні викиди CO₂ становлять 1243.2 кг CO₂ -е на гектар. Для капусти, яка потребує меншого обсягу зрошення та добрив, цей показник складає 1117.6 кг CO₂ -е на гектар. Зокрема, значну частку вуглецевого сліду для овочевих культур складають викиди від використання дизельного пального та добрив, що свідчить про важливість енергоефективності та оптимізації витрат ресурсів.

Тваринницька продукція характеризується значно вищим рівнем вуглецевого сліду через викиди метану від травлення та управління гноєм. Для молока, в середньому на одну корову, сумарні викиди становлять 11571.24 кг CO₂ -е на рік. Для яловичини, при продуктивності 300 кг м'яса на одну тварину, цей показник сягає 13339.72 кг CO₂ -е на рік, що робить виробництво яловичини одним із найбільш вуглецево-інтенсивних. Виробництво свинини характеризується значно меншими викидами — 2,722.12 кг CO₂ -е на рік для однієї тварини, а м'яса птиці — лише 15.4 кг CO₂ -е на одну особину, що

робить птахівництво найменш вуглецево-інтенсивним напрямом тваринництва.

Таким чином, результати дослідження демонструють суттєві відмінності у вуглецевому сліді різних видів сільськогосподарської продукції, що підкреслює необхідність диференційованого підходу до зменшення викидів у цій галузі. Зменшення використання азотних добрив, впровадження енергоефективних технологій у рослинництві, оптимізація управління гноєм та зниження споживання пального є ключовими заходами для зниження вуглецевого сліду сільського господарства Кіровоградської області.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці є ключовим аспектом будь-якого виду господарської діяльності, включаючи аграрний сектор, який характеризується значною трудомісткістю, використанням потужної техніки, хімічних речовин і взаємодією з природними факторами.

У рамках кваліфікаційної роботи питання охорони праці розглядаються як важливий інструмент забезпечення безпеки та здоров'я працівників, підвищення ефективності сільськогосподарських процесів і дотримання екологічних норм. Дослідження проводилися на прикладі фермерських господарств в Кіровоградській області, що дозволило врахувати регіональні особливості ідентифікації ризиків і розробки ефективних заходів їхнього зниження.

Сільське господарство є однією з галузей з високим рівнем ризиків, які пов'язані з фізичними, хімічними, біологічними, ергономічними та психосоціальними небезпеками.

Фізичні ризики виникають під час роботи з технікою та обладнанням, а також через вплив несприятливих погодних умов, таких як спека, холод чи сильні опади.

Наприклад, під час проведення польових робіт працівники зазнають тривалого впливу ультрафіолетового випромінювання, що може спричинити сонячні опіки чи тепловий удар.

Робота з технікою створює загрозу травматизму у випадку недотримання техніки безпеки.

Хімічні ризики пов'язані з використанням пестицидів, гербіцидів і мінеральних добрив, які можуть викликати подразнення шкіри, дихальних шляхів, а також спричинити серйозні захворювання у разі тривалого контакту.

Біологічні ризики включають контакт із патогенними мікроорганізмами, що містяться у ґрунті чи тваринному гної, які можуть спричинити інфекційні захворювання.

Ергономічні ризики, такі як неправильна організація робочого місця, монотонні дії чи підйом важких вантажів, часто спричиняють проблеми з опорно-руховим апаратом.

Психосоціальні ризики виникають через стрес, перевантаження та сезонність робіт, що може негативно впливати на психологічний стан працівників.

Для мінімізації зазначених ризиків розроблено комплекс організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних та медичних заходів.

Організаційні заходи включають створення інструкцій з охорони праці для кожного виду діяльності, регулярне проведення інструктажів із техніки безпеки, а також розробку плану дій у разі аварійних ситуацій, таких як розлив хімічних речовин.

Технічні заходи зосереджені на впровадженні сучасної сільськогосподарської техніки з автоматизованими функціями, що дозволяють зменшити обсяг ручної праці.

Особлива увага приділяється забезпеченню працівників засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), такими як рукавички, маски, захисні окуляри, спецодяг, а також регулярному технічному обслуговуванню машин і обладнання для уникнення несправностей.

Санітарно-гігієнічні заходи включають забезпечення працівників чистою питною водою, засобами для миття рук і дезінфекції, а також облаштування зон відпочинку з укриттям від прямих сонячних променів.

Медичні заходи передбачають організацію попередніх і періодичних медичних оглядів працівників, а також створення пунктів надання першої медичної допомоги на території господарства.

У рамках магістерської роботи дослідження охорони праці здійснювалося під час виконання польових досліджень, які включали збір даних про витрати пального, обсяги використання добрив, транспортування продукції та інші технологічні процеси.

Під час роботи з хімічними речовинами дослідники були забезпечені ЗІЗ, зокрема захисними рукавичками, респіраторами та захисними окулярами. Робота в польових умовах вимагала дотримання рекомендацій щодо тривалості робочого дня, використання спеціального одягу та забезпечення працівників достатньою кількістю води для запобігання дегідратації. Крім того, особливу увагу приділяли безпеці роботи з технікою: оператори були навчені основам безпечного керування машинами, а техніка регулярно перевірялася на справність.

Дослідження дозволило ідентифікувати основні джерела ризиків, пов'язані з кожним етапом сільськогосподарської діяльності, та розробити рекомендації для їх мінімізації.

Наприклад, під час роботи з технікою запропоновано впроваджувати автоматизовані системи управління, що зменшують участь людини у процесах.

Для зменшення впливу хімічних речовин рекомендовано використовувати сучасні технології внесення добрив і пестицидів, які дозволяють знизити їх кількість і, відповідно, ризик для здоров'я працівників.

Крім того, доцільним є впровадження інноваційних технологій, таких як дрони, для моніторингу стану посівів, що дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників і підвищити точність оцінки стану ґрунту та рослин.

Таким чином, результати дослідження підкреслюють необхідність комплексного підходу до охорони праці в аграрному секторі, що враховує як технічні, так і організаційні аспекти. Подальше вдосконалення системи охорони праці дозволить не лише забезпечити безпеку та здоров'я працівників, але й сприятиме підвищенню ефективності виробництва, зниженню витрат і дотриманню екологічних стандартів.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі проведеного аналізу вуглецевого сліду різних видів сільськогосподарської продукції та сучасних підходів до екологічної оптимізації виробництва, нами було розроблено рекомендації, спрямовані на зменшення викидів парникових газів в аграрному секторі Кіровоградської області.

Насамперед рекомендується впровадження технологій нульового обробітку ґрунту (No-till), що дозволить значно знизити викиди CO_2 , які виникають під час механічного обробітку ґрунту, а також сприятиме збереженню та накопиченню органічного вуглецю. Одночасно доцільно збільшити використання покривних культур, які не тільки зменшують ерозію та збагачують ґрунт, але й ефективно акумулюють вуглець. У поєднанні з цим використання органічних добрив, таких як компости або сидерати, дозволить зменшити залежність від мінеральних добрив, сприяючи підвищенню вмісту гумусу та загального рівня вуглецю у ґрунті.

Для зниження викидів, пов'язаних із внесенням добрив, рекомендується впроваджувати системи точного землеробства, які базуються на використанні супутникових даних та сенсорних технологій для точного визначення оптимальних норм добрив на кожній ділянці. Це дозволить уникнути надмірного внесення азотних добрив, які є головним джерелом викидів оксиду азоту (N_2O). Крім того, ефективним заходом стане застосування інгібіторів нітрифікації, які сповільнюють процес перетворення азоту в ґрунті, тим самим мінімізуючи викиди. Ще одним важливим напрямом є розширення площ під бобовими культурами, що забезпечують біологічну фіксацію азоту та зменшують потребу у використанні хімічних добрив.

В галузі тваринництва рекомендовано оптимізувати раціони жуйних тварин через додавання до кормів спеціальних добавок, таких як таніни або жири, що знижують рівень утворення метану під час травлення. Ще одним важливим кроком є впровадження анаеробних систем зброджування гною, які

дозволяють перетворювати відходи тваринництва на біогаз – відновлюване джерело енергії, з одночасним зменшенням викидів метану. Удосконалення систем зберігання та обробки гною також допоможе мінімізувати викиди парникових газів.

Додатково рекомендується здійснювати енергетичну трансформацію господарств через впровадження відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, вітрові турбіни або біогазові установки, а також підвищувати енергоефективність існуючого обладнання. З метою зменшення вуглецевого сліду на рівні ландшафтного управління важливо збільшити площу лісів, а також розвивати агролісосмуги, які допоможуть стабілізувати мікроклімат, зменшити ерозію та додатково поглинати вуглець.

Для впровадження цих рекомендацій доцільно використовувати сучасні цифрові технології, зокрема системи моніторингу та управління, що базуються на ГІС-технологіях. Це дозволить забезпечити прозорість та точність в оцінці вуглецевого сліду й ефективності впроваджених заходів. У комплексі ці рекомендації сприятимуть зниженню впливу аграрного сектору Кіровоградської області на зміну клімату та забезпечать сталий розвиток галузі.

ВИСНОВКИ

1. У процесі дослідження було встановлено, що вуглецевий слід є інтегральним показником, що відображає сукупність викидів парникових газів, пов'язаних з діяльністю людини чи виробництва. Основними методами оцінки вуглецевого сліду є аналіз життєвого циклу (LCA) та використання спеціалізованих калькуляторів. Ці методи дозволяють кількісно оцінити викиди CO₂ та інших парникових газів, що дає можливість ідентифікувати основні джерела викидів і розробити стратегії їх зменшення.

2. Дослідження показало, що ключовими факторами, які формують вуглецевий слід аграрного сектору Кіровоградської області, є:

- структура та інтенсивність використання земельних ресурсів;
- обсяги внесення мінеральних і органічних добрив;
- види та кількість використовуваного палива в сільськогосподарській техніці;
- типи вирощуваних культур і способи їх переробки.

Особливістю регіону є переважання вирощування зернових та олійних культур, що потребують значних ресурсів, але водночас формують значний потенціал для впровадження сталих практик.

3. Результати оцінки вуглецевого сліду для основних видів сільськогосподарської продукції області показали, що найбільший вуглецевий слід мають зернові культури, такі як пшениця та кукурудза, через високий рівень механізації та використання добрив. Олійні культури, наприклад соняшник, також мають значний вплив через енергоємність виробничих процесів. Інші категорії продукції, такі як овочі, демонструють менший вуглецевий слід, однак їх частка в загальному виробництві регіону є незначною.

4. Для зниження вуглецевого сліду аграрного сектору Кіровоградської області рекомендовано:

- впроваджувати системи точного землеробства для раціонального використання ресурсів;

- зменшувати залежність від мінеральних добрив шляхом підвищення частки органічних технологій;
- використовувати альтернативні джерела енергії (біогаз, сонячні панелі) у виробничих процесах;
- проводити навчання аграріїв щодо впровадження екологічно дружніх технологій.

Ці заходи дозволять скоротити вуглецевий слід аграрного сектору без зниження економічної ефективності виробництва.

Наші дослідження підтвердили важливість оцінки та управління вуглецевим слідом як інструменту сталого розвитку аграрного сектору. Розроблені рекомендації спрямовані на підвищення екологічної відповідальності виробників та створення передумов для гармонійного розвитку регіону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скорук О.П. Перспективи розвитку відновлювальної енергетики в Україні. / О.П. Скорук // Економіка АПК. – 2013. – № 5. – С. 63–66.
2. Біодеградація: вуглецевий слід упаковки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/biodegradatsiya-vugletseviy-slid-upakovki>, дата звернення: 10.12.2024
3. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ1_u.htm. дата звернення: 10.12.2024
4. Агробізнес сьогодні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agro-business.com.ua/ekonomichnyi-gektar/3337-pryvablyvist-ripaku.html>., дата звернення: 10.12.2024
5. Paris Agreement // The United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat. – 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf., дата звернення: 10.12.2024
6. Національний кадастр антропогенних викидів з джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990–2012 рр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.seia.gov.ua/seia/control/main/uk/publish/article/636918;jsessionid=A2B954A7BC4628561C56D5226BE2B387.app2>. Дата звернення: 10.12.2024
7. Рамкова конвенція ООН про зміну клімату [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/application/zip/ukr-2014-nir-15apr.zip. Дата звернення: 10.12.2024
8. Енергетичні індикатори: статистика // Міжнародне енергетичне агентство [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://energyatlas.iea.org/?subject=-297203538>. Дата звернення: 10.12.2024

9. Прогнозування викидів парникових газів в Україні до 2030 р.та подальшу перспективу / Агентство США з міжнародного розвитку (USAID); Державна установа «Інститут економіки та прогнозування НАН України». – 2015. – 91 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.menr.gov.ua/docs/klimatychna-polityka/USAID_MERP.doc. Дата звернення: 10.12.2024

10. IPCC. Statement about the 2007 Nobel Peace Prize [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ipcc.ch/pdf/nobel/Nobel_statement_final.pdf. Дата звернення: 10.12.2024

11. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, Volume 331, Issue 2, Pages 171-178. Jean-Marie Robine, Siu Lan K. Cheung, Sophie Le Roy, Herman Van Oyen, Clare Griffiths, Jean-Pierre Michel, François Richard Herrmann.

12. Doris Carrion. Syrian Refugees in Jordan Confronting Difficult Truths. Chatham House. September 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/field/field_document/20150921SyrianRefugeesCarrion.pdf. Дата звернення: 12.12.2024

13. Carbon Brief. Two degrees: The history of climate change's speed limit [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.carbonbrief.org/two-degrees-the-history-of-climate-changes-speed-limit>. Дата звернення: 12.12.2024

14. Україна і політика протидії зміні клімату: економічний аспект. Аналітична доповідь / За заг. ред. В.Р. Сіденка та О.О. Веклич. – Київ: Заповіт, 2016.– 208 с.

15. Jeffery S., Abalos D., Prodana M., Bastos A.C., van Groenigen J.W., Hungate B.A., Verheijen F. Biochar boosts tropical but not temperate crop yields. 2017. *Environmental Research Letters*. V 12. P. 053001.

16. Балюк С.А., Медведєв В.В., Кучер А.В., Соловей В.Б., Левін А.Я., Колмаз Ю.Т. Управління органічним вуглецем ґрунту в контексті продовольчої безпеки й змін клімату. *Вісник аграрної науки*. 2017. С. 11–18.

17. EEA: Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2019 and inventory report 2021: European Environmental Agency, Copenhagen. 2021. https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/f454ae4c825646b2a15497b17a71dbf0.

Дата звернення: 12.12.2024

18. Бережняк Є.М., Наумовська О.І., Бережняк М.Ф. Деградаційні процеси в ґрунтах України та їх негативні наслідки для довкілля. Біологічні системи: теорія та інновації. 2022. Vol. 13. № 3–4.

19. Кудлай В. Г. Особливості інноваційної політики в агробізнесі. Сучасні напрями розвитку суспільства: кол. моногр. Харків: СГ НТМ «Новий курс», 2022. С.179-184.

20. Ларіна Я., Ал-Шабан А. Т. Н.. Класифікація інновацій в аграрному секторі як передумова формування маркетингових стратегій інноваційного розвитку сільськогосподарських підприємств. Bioeconomics and agrarian business. 2019. Vol. 10. №1. С. 58–67. DOI: 10.31548/bioeconomy2019.01.058

21. Луцій О., Бондаренко В. Механізм забезпечення інноваційної діяльності підприємств аграрного сектору на засадах маркетингу. Проблеми і перспективи економіки та управління. 2022. № 4 (32). С. 144-155. DOI: 10.25140/2411-5215-2022-4(32)-144-155

22. Сагачко Ю. М., Тешева Л. В. Інноваційна діяльність підприємств аграрного сектора як критерій ефективності його виробничо-господарського потенціалу. Проблеми економіки. 2020. № 4 (46). С. 217-223. DOI:10.32983/2222-0712-2020-4-217-223

23. Юрчук Н. П., Кіпоренко С. С. Особливості використання цифрових технологій в агробізнесі. Східна Європа: економіка, бізнес та управління. 2022. № 36. С. 109-116. DOI:10.32782/easterneurope.36-17

24. Бутрим О.В. Теоретико-методологічні основи формування внутрішнього вуглецевого ринку в контексті збалансованого розвитку агросфери: монографія / за ред. О.І. Дребот – К.: ТОВ «ДІА», 2018. – 386 с.

25. Бутрим О. В. Вплив нормативної грошової оцінки земель сільськогосподарського призначення на забезпечення низьковуглецевого розвитку землекористування. Проблеми економіки. 2018. № 1. С. 384–389.

26. Бутрим О. В., Дребот О. І., Шершун М. Х. Інституціональне забезпечення впровадження внутрішнього вуглецевого ринку сектора сільськогосподарського землекористування. Бізнес Інформ. 2018. № 1. С. 227 – 233.

27. Бутрим О. В. Еколого-економічні аспекти збалансованого функціонування лісового комплексу регіону в контексті низьковуглецевого розвитку. Вісник Сумського національного аграрного університету. Економіка і менеджмент. 2014. № 12 (65). С. 124–129.

28. Гайдуцький І. П. Інвестування низьковуглецевої економіки: теорія, методологія, практика: монографія. Київ : ТОВ «Інформаційні системи», 2014. 374 с.

29. Добряк Д. С., Кузін Н. В. Удосконалення класифікації процесів, що спричиняють деградацію земельних угідь. Збалансоване природокористування. 2016. № 1. С. 106–111

30. Scherr, S. J, S. Shames and R. Friedman. 2013. Defining integrated landscape management for policy makers. Ecoagriculture Policy Focus. – №. 10. Washington, DC: EcoAgriculture Partners. 235 p.

31. Policy options for including LULUCF in the EU reduction commitment and policy instruments for increasing GHG mitigation efforts in the LULUCF and agriculture sectors : Synthesis report. / Wageningen University & Research Centre, The Netherlands. Forest Research, UK. Prepared by Peter Kuikman [and others]. Service Contract 2009/S 231-330911. European Commission, 2011, 62 p. URL: http://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf/docs/synthesis_report_en.pdf (дата звернення: 10.11.2024)

32. Proposal for a regulation of the european parliament and of the council on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry into the 2030 climate and energy framework and amending

Regulation No 525/2013. Commission staff working document impact assessment. Brussels, 20.7.2016. SWD(2016) 249 final. URL: <http://eurlex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016SC0249&from=EN> (дата звернення: 10.11.2024)

33. Regenerative Organic Agriculture and Climate Change: A Down-to-Earth Solution to Global Warming (White Paper). Emissions Trading Worldwide: Status Report 2017. Rodale Institute, Kutztown : PA. ICAP. Berlin, 2017. URL: <https://icapcarbonaction.com/en/status-report-2017> (дата звернення: 10.11.2024)

34. Modalities for the accounting of assigned amounts under Article 7, paragraph 4, of the Kyoto Protocol. Decision 13/CMP.1. United Nation. Framework Convention on Climate Change. 30 March 2006. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2005/cmp1/eng/08a02.pdf#page=23> (дата звернення: 10.12.2024)