

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та екології

Кафедра екології, збалансованого природокористування та захисту

довкілля

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: «АНАЛІЗ ПОТЕНЦІАЛУ ВУГЛЕЦЕВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ДЛЯ

ПОМ'ЯКШЕННЯ НАСЛІДКІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ»

Виконала: здобувачка вищої освіти
за освітньою програмою Агроекологія
спеціальності 101 Екологія
ступеня вищої освіти магістр
групи 101Екл_мд2022

Богдарьова Дар'я Володимирівна

Керівник: Тараненко Анна Олексіївна,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент.

Рецензент: Ляшенко Віктор Васильович,
кандидат сільськогосподарських наук, доцент.

Полтава – 2023 року

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.....	5
ВСТУП	8
РОЗДІЛ I	
ВИДИ ВУГЛЕЦЕВОГО СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПОМ'ЯКШЕННЯ НАСЛІДКІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ	11
1.1. Види вуглецевого землеробства.....	13
1.2. Управління торфовищами.....	17
1.3. Агролісомеліораційні системи	20
1.4. Накопичення органічної речовини на мінеральних ґрунтах	22
1.5. Управління тваринництвом та відходами тваринництва.....	25
1.6. Управління поживними речовинами ґрунту на ріллі та луках	27
РОЗДІЛ II	
ПОТЕНЦІАЛ ВУГЛЕЦЕВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА У ПОМ'ЯКШЕННІ НАСЛІДКІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ	29
2.1. Потенціал щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та його джерела	29
2.2. Розподіл потенціалу вуглецевого землеробства.....	30
2.3. Заходи, що забезпечують реалізацію потенціалу пом'якшення зміни клімату.....	35
2.3.1. Моніторинг, звітування та верифікація	35
2.4. Переваги та ризики вуглецевого землеробства	39
РОЗДІЛ III	
ВУГЛЕЦЕВЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО ЯК БІЗНЕС-МОДЕЛЬ.....	41
3.1. Типи платежів за вуглецеве землеробство	41

3.2. Переваги та недоліки різних моделей механізмів реалізації вуглецевого землеробства.....	42
--	----

РОЗДІЛ IV

ПОЛІТИКА РЕАЛІЗАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЙОГО ЗВ'ЯЗКИ З ІНШИМИ СФЕРАМИ	47
---	----

4.1. Сільське господарство в рамках кліматичної та енергетичної політики	47
--	----

4.2. Сільське господарство в рамках політики щодо біорізноманіття	49
---	----

4.3. Ризики вуглецевого землеробства у контексті відновлення природи... ..	52
--	----

ВИСНОВКИ.....	55
---------------	----

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
---------------------------------	----

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Зміна клімату є світовою проблемою та деякі кліматичні тенденції вже є незворотними. Антропогенні чинники зміни клімату спричинюють чимало погодних та кліматичних аномалій у кожному регіоні світу. Спостерігаються зміни в усій кліматичній системі Землі. Вплив людини на екосистеми призвів до підвищення температури навколишнього середовища безпрецедентними темпами. Різке та стійке скорочення викидів вуглекислого газу (CO₂) та інших парникових газів може швидко поліпшити якість повітря, а через 20–30 років глобальна температура навколишнього середовища може стабілізуватися. Вуглецеве землеробство може мати значний потенціал для пом'якшення наслідків зміни клімату, адже за даними FAO, сільське господарство спричиняє 24% глобальних викидів парникових газів. Вуглецеве землеробство передбачає розробку різноманітних природніх методів ведення землекористування. Викиди парникових газів від використання орних земель залежать від втрат органічного вуглецю ґрунтом через більш інтенсивну сільськогосподарську практику та зменшення використання органічних добрив. Втрата органічного вуглецю ґрунту зумовлена негативним балансом між надходженням азоту та вуглецю. Враховуючи актуальність вирішення питання пом'якшення наслідків зміни клімату та значний внесок сільського господарства у загальну кількість викидів парникових газів завданням дослідження стало оцінка та аналіз потенціалу низки агрономічних практик щодо збільшення видалення вуглецю або зменшення викидів парникових газів, дослідження можливостей, проблем, супутніх переваг та ризиків їх застосування.

Мета дослідження. Вивчити вплив вуглецевого землеробства на потенціал зменшення вивкидів парникових газів.

Завдання дослідження: Враховуючи актуальність вирішення питання пом'якшення наслідків зміни клімату та значний внесок сільського господарства у загальну кількість викидів парникових газів завданням дослідження стало оцінка та аналіз потенціалу низки агрономічних практик

щодо збільшення видалення вуглецю або зменшення викидів парникових газів, дослідження можливостей, проблем, супутніх переваг та ризиків їх застосування.

Об'єктом дослідження. Альтернативні практики ведення сільського господарства та агрономічні практики, що мають вплив на емісію парникових газів.

Предмет дослідження. Викиди парникових газів внаслідок сільськогосподарської діяльності.

Наукова новизна одержаних результатів. Розробка нових підходів до систем землеробства та управління ґрунтом для керування значною кількістю CO₂ у навколишньому середовищі та покращення ефективності використання земельних ресурсів та якості ґрунту. Оцінка якості ґрунту дає можливість дослідити механізми управління ґрунтом, щоб скористатися перевагами його властивостей.

Практичне значення одержаних результатів. Проведений аналіз дає змогу визначити загальний додатковий потенціал зменшення викидів вуглецевого сільського господарства оцінюється на рівні 101-444 Мт CO₂-е на рік, що еквівалентно близько 3-12% загальної кількості річних викидів парникових газів та 26% річних викидів парникових газів від ведення сільськогосподарської діяльності.

Особистий внесок здобувача: автором проведено ґрунтовний літературний огляд та аналіз як вітчизняних, так і міжнародних публікацій щодо управління викидами парникових газів у сільському господарстві.

Апробація результатів роботи. Результати роботи апробовані на VII Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Ефективне функціонування екологічно-стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти"» 13 грудня 2023 року». Полтава, 2023 рік.

Публікації:

1. Тараненко А.О., Тараненко С.В., Богдарьова Д.В. Перспективи вуглецевого землеробства для пом'якшення наслідків зміни клімату. *Таврійський науковий вісник*. 2023.№ 134. С. *прийнято до друку. (довідка додається).*

2. Богдарьова Д.В., Тараненко А.О. Потенціал ефективних практик управління ґрунтом агроecosистем у зменшенні викидів парникових газів. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Ефективне функціонування екологічно-стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроecологічний, соціальний та економічний аспекти"». 2023. Полтава.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із 62 сторінок тексту, 5 рисунків, таблиць. Зміст роботи викладено у 4 розділах. Список використаної літератури становить 61 джерела.

ВСТУП

Вуглецеве сільське господарство це ефективна стратегія для сталого виробництва продуктів харчування та інших супутніх продуктів. Це передбачає розробку різноманітних природних методів землеробства та товарної продукції одночасно. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації (FAO), сільське господарство, лісове господарство та інші методи землекористування спричиняють 24% глобальних викидів парникових газів, а загальні глобальні викиди худоби становлять 7,1 гігатонни CO₂-еквівалента на рік, що становить 14,5 % загальних антропогенних викидів парникових газів.

У зв'язку з цим необхідним є розробка нових підходів до систем землеробства та управління ґрунтом, щоб впоратися з великою кількістю CO₂ у навколишньому середовищі, одночасно покращуючи ефективність використання земельних ресурсів та якість ґрунту. Різні способи господарювання впливають на кількість органічної речовини в ґрунті, її склад та водоутримувальну здатність [1,2]. Однак, одночасне задоволення людських потреб і захист природних ресурсів є ключовими для ефективних стратегій планування. Дослідження якості ґрунту має на меті зрозуміти механізми управління ґрунтом, щоб скористатися перевагами його властивостей. Тому, стає необхідним розпізнати чинники, що впливають на здоров'я ґрунту, серед яких органічна речовина є критично важливою [3,4]. Органічна речовина ґрунту є основним накопичувачем вуглецю збільшує водоутримувальну здатність і зміцнюють структуру ґрунту [5, 6], що сприяє підвищенню продуктивності сільського господарства, зменшення випадків посухи та хвороб [7, 8]. Тому, сільськогосподарська діяльність, яка сприяє накопиченню органічної речовини в ґрунті, є необхідною для обмеження надходження CO₂ у навколишнє середовище [9,10].

Діяльність, пов'язана з управлінням ґрунтом, є важливою для збереження та відновлення вуглецю в ґрунті. Але багато сільськогосподарських земель, мають значний дефіцит вуглецю через

процеси деградації ґрунту [11,12]. Тому мають бути вжиті всі можливі заходи для стимулювання екологічно стійких методів ведення землеробства для збереження вуглецю в ґрунті. Важливим заходом є впровадження екологічної політики, спрямованої на збереження низького рівня вуглецевого сліду. На додаток до традиційного обробітку ґрунту, терасування та систем без мульчування, фермерам рекомендується використовувати інші системи, такі як біодобрива, No-till та рослинної мульчі, разом із системами.

Останніми роками вуглецеве землеробство привертає широку увагу у контексті управління викидами у досягненні кліматичної нейтральності. Вуглецеве землеробство зосереджується на контролі накопиченими обсягами викидів вуглецю та парникових газів на локальному рівні (рівні сільськогосподарського виробника) з метою пом'якшення зміни клімату. Вуглецеве землеробство передбачає управління земельними ресурсами, тваринницьким господарством, усіма накопиченнями вуглецю в ґрунтах, матеріалах і рослинності, а також потоками вуглекислого газу (CO_2), метану (CH_4), та азоту (N_2O) [1].

Ініціатива Європейської Комісії щодо вуглецевого землеробства [2], вказують на зростаючу роль сільського господарства та землекористування в досягненні цілей пом'якшення клімату, збільшення цільових показників абсорбції на 2026-2030 роки та прагнення до кліматично нейтрального сільського господарства, землекористування та лісового сектору до 2035 року, а також посилення моніторингу та вимог відповідності.

Методи ведення сільського господарства та зміни у землекористуванні, які забезпечують один або декілька з наступних результатів: 1) видалення вуглецю (секвестрація) і подальше зберігання в біомасі над/під землею та в сільськогосподарських ґрунтах; 2) уникнення майбутніх викидів CO_2 та інших парникових газів; та/або 3) скорочення існуючих викидів CO_2 та інших ПГ викиди [10].

Термін «вуглецеве сільське господарство» також часто використовується для позначення нової бізнес-моделі для

сільськогосподарських виробників, яка складається із стимулів для фермерів застосовувати методи ведення сільського господарства, які забезпечують кліматичну користь на локальному рівні.

РОЗДІЛ І

ВИДИ ВУГЛЕЦЕВОГО СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ПОМ'ЯКШЕННЯ НАСЛІДКІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Зміна клімату є широкомасштабною, швидкою та інтенсивною, і деякі кліматичні тенденції вже є незворотними. Антропогенні чинники зміни клімату спричинюють чимало погодних та кліматичних аномалій у кожному регіоні світу. Спостерігаються зміни в усій кліматичній системі Землі: в атмосфері, в океанах, льодових покривах, на суші. Багато з цих змін є безпрецедентними, деякі зміни відбуваються нині, тоді як інші, такі як тривале підвищення рівня моря, стануть незворотними у найближчому чи віддаленому майбутньому [12-15].

Але, як зазначається в останньому звіті Міжурядової групи з питань зміни клімату, є ще час, щоб обмежити зміну клімату. Різка та стійке скорочення викидів вуглекислого газу (CO₂) та інших парникових газів спроможне швидко поліпшити якість повітря, а через 20–30 років глобальна температура може стабілізуватися [16].

У звіті МГЕЗК, підготовленому 234 вченими з 66 країн, підкреслюється, що вплив людини підвищував температуру клімату безпрецедентними темпами щонайменше за останні 2 тис. років. У 2019 р. концентрації CO₂ в атмосфері були вищими, ніж будь-коли за щонайменше 2 млн років, а концентрації метану та оксиду азоту були вищими, ніж будь-коли за останні 800 тис. років (рис. 1).



Рис. 1. Викиди CO₂ у 2009-2019 роках, млн.т.

Вуглецеве землеробство в Європі пропонує значний потенціал для пом'якшення наслідків клімату, однак існує значна наукова невизначеність щодо масштабу потенціалу. Це вимагає ретельної розробки політики. Потрібна вдосконалена наукова база для розробки політики. Постає необхідність фінансування досліджень, які використовують інтегрований, загальносистемний підхід, враховуючи взаємодію між різними варіантами вуглецевого землеробства, бар'єри для впровадження, взаємодію зі змінами в моделях споживання та вплив на інші екологічні та соціально-економічні цілі [17, 18].

Вуглецеве землеробство може принести додаткові переваги сільськогосподарським виробникам та суспільству, але воно також створює ризики, якими потрібно ретельно керувати. Методи ведення сільського господарства, які працюють із природними процесами, можуть принести користь для біорізноманіття, водного середовища, здоров'я ґрунту та добробуту тварин. Виробники також можуть отримати вигоду від

підвищення продуктивності, зниження витрат і підвищення стійкості виробництва. Однак деякі практики вирощування вуглецю можуть мати негативний вплив і призвести до компромісів (наприклад, для здоров'я ґрунту, біорізноманіття або добробуту тварин) [19, 20]. Щоб максимізувати взаємні вигоди та уникнути компромісів, вуглецеве сільське господарство має бути розроблено із запобіжними заходами та стимулами, які сприяють діям із багатьма перевагами.

1.1. Види вуглецевого землеробства

Вуглецеве землеробство включає низку агрономічних практик – зміни землекористування, а також інші технологічні рішення. Такі методи, як покривні культури, покращені сівозміни, відновлення торфовищ або розширення систем агролісомеліорації, покладаються на природні процеси в агроекосистемах і працюють із ними. З одного боку, вони можуть зменшити сільськогосподарське виробництво, оскільки вони можуть спричинити зниження інтенсивності виробництва на гектар або вилучення землі. З іншого боку, вони можуть принести багато додаткових переваг для навколишнього середовища та сталого розвитку сільського господарства. Крім того, вони можуть підвищити стійкість до впливу клімату, таким чином сприяючи підвищенню стабільності врожайності та приносячи користь сільськогосподарському бізнесу завдяки більш ефективному використанню поживних речовин для сільськогосподарських культур і режиму годівлі худоби, а також диверсифікації сільськогосподарських культур [21-25].

Більше технологічних варіантів, таких як приміщення для худоби з низьким рівнем викидів, біогазові реактори або інгібітори нітрифікації, також можуть зменшити інтенсивність викидів парникових газів на одиницю продукції та підвищити ефективність використання ресурсів, особливо у тваринництві, але вони також можуть мати негативні або непередбачені наслідки. не забезпечують автоматично абсолютне скорочення викидів.

Отже, вуглецеве землеробство може бути у вигляді наступними варіантами: 1) повторне зволоження та відновлення торфовищ; 2) створення

та підтримка системи агролісомеліорації; 3) підтримка та підвищення вмісту органічного вуглецю (SOC) у ґрунті на мінеральних ґрунтах; 4) управління тваринництвом та його відходами; 5) управління поживними речовинами на орних землях і луках. Ці підкатегорії різняться за своїм потенціалом щодо збільшення видалення вуглецю або зменшення викидів парникових газів. Вони також створюють різні можливості та проблеми з точки зору супутніх переваг, ризиків, витрат, стимулів і ноу-хау [27-28]. У таблиці 1 подано зведення варіантів та їх характеристики.

В Україні 29 % від загального обсягу викидів парникових газів припадали на сільське господарство.



Рис. 2. Обсяг викидів парникових газів від сільського господарства.

Джерело: <https://www.slideshare.net/MykolaShlapak/ss-245114402>

Таблиця 1

Аналіз варіантів вуглецевого землеробства

Критерій оцінки	Догляд за торфовищами	Агролісомеліорація	Підтримувати та збільшувати SOC на мінеральних ґрунтах	Утримання худоби та гною	Управління поживними речовинами на орних землях і луках
Дії вуглецевого землеробства	Повторне заболочування / обслуговування / управління торфовищами.	Створення, відновлення та управління деревними особливостями в ландшафті.	Управління орними угіддями та луками.	Технології зменшення метану, управління відходами, підвищення ефективності стада та кормів.	Покращене планування поживних речовин, час і внесення добрив; зменшення кількості добрив.
Потенціал щодо пом'якшення наслідків зміни клімату (Мт CO ₂ -е/рік)	51–54 Мт CO ₂ -е/рік	8 – 235 Мт CO ₂ -е/рік	9 – 70 Мт CO ₂ -е/рік	14 – 66 Мт CO ₂ -е/рік	19 Мт CO ₂ -е/рік
Потенціал пом'якшення на гектар (т CO ₂ -е/га/рік)	3,5 - 29	0,03 – 27	0,5 - 7	Недоступний	Недоступний
Механізм пом'якшення	Уникнення викидів	Видалення	Видалення та уникнення викидів	Зменшення викидів	Зменшення викидів
Тип зміни	Використання земель	Управління	Управління та використання земель	Управління	Управління
Переваги для	Потенціал	Диверсифікація	Підвищення	Нижчі витрати на введення	Нижчі вхідні витрати

виробників	болотного землеробства (продуктивне використання вологих торфовищ)	випусків захищає від одиничних неврожай	вологоемності та працездатності ґрунтів, урожайності	(корми, добрива, енергія), здоров'я ґрунту, продуктивність	
Переваги для суспільства	Біорізноманіття, регулювання паводків, якість води	Поліпшення утримання води, мікроклімату, здоров'я ґрунту, біорізноманіття	Покращене утримання води, здоров'я ґрунту, біорізноманіття	Зменшення стоку поживних речовин; зниження викидів аміаку	Зменшення стоку поживних речовин; зниження викидів аміаку
Ризики	Викиди CH_4 (хоча чиста вигода від парникових газів), зменшення виробництва	Вплив немісцевих видів на біорізноманіття	Біовугілля та позафермовий компост впливають на здоров'я ґрунту/біорізноманіття	Добробут тварин; вплив кормових добавок на якість води	Вплив інгібіторів нітрифікації на якість води

1.2. Управління торфовищами

Торфовище — це заболочені наземні екосистеми, які характеризуються високим вмістом органічних речовин і, отже, накопиченого вуглецю [1, 29]. Осушені торфовища вивільняють раніше накопичений вуглець, а також інші парникові гази (особливо NO_x). Торфовищами можна керувати для пом'якшення зміни клімату трьома способами: підтримувати існуючі торфовища у вологому стані, щоб уникнути викидів (для збереження природи чи через болотне розведення), шляхом повторного зволоження та відновлення раніше осушених торфовищ (щоб уникнути викидів із деградуючих торфовищ) або шляхом адаптації до управління осушеними торфовищами в продуктивному використанні, які не можна повторно зволожити [30].

У Європі торфовища зберігають у чотири-п'ять разів більше вуглецю, ніж дерева [31], величезний поглинач вуглецю, який потрібно підтримувати. В ЄС осушені торфовища викидають 220 Мт CO_2 -е на рік, що становить 5% загальних викидів парникових газів ЄС у 2017 році [32]. Дослідниками підраховано, що максимальне щорічне додаткове пом'якшення через вибуття і повторне зволоження органічних ґрунтів у ЄС становитиме 51,7 Мт CO_2 -е у 2030 році; крім того, припинення видобутку торфу може уникнути щорічних викидів 9 млн. т CO_2 -е [33]. Дослідженнями спрогнозоване можливе пом'якшення від повторного зволоження торфовищ в обсязі 54 Мт CO_2 -е на рік [34]. Відновлення торфовищ є дуже ефективним пом'якшувальним заходом у перерахунку на гектар. Потенціал пом'якшення наслідків зміни клімату значно відрізняється в різних країнах: більшість торфовищ знаходяться в північній Європі. Наприклад, 85% торфовищ Норвегії знаходяться в здоровому стані, на відміну від лише 2% у Німеччині [35]. Торфовища можуть кумулювати вуглець назавжди за умови їх постійного зберігання [1,36]. Нестійкість торфовищ може бути спричинена антропогенним впливом, наприклад, повторним осушенням або нездатністю

підтримувати торфовища, але також є результатом стихійних лих або підвищення рівня моря [37].

В Україні Найбільшу кількість торфовищ мають Київська, Чернігівська, Житомирська, Вінницька області (Рис. 1, 2). Запаси торфу в Україні можна оцінити 2600-4000 млн.т. Кількість родовищ зменшується з півночі на південь, де поклади торфу трапляються лише в долинах річок та западинах. Природоохоронний статус мають 13,5% боліт та торфовищ. В Україні близько 1 млн. гектарів тофовищ, з яких близько 100 тис. були розкопані та 150 тис. осушені, 170 тис. під розкопками та 100 тис. під охороною. Значна частина торфовищ, які використовувалися у сільському господарстві відновлено.

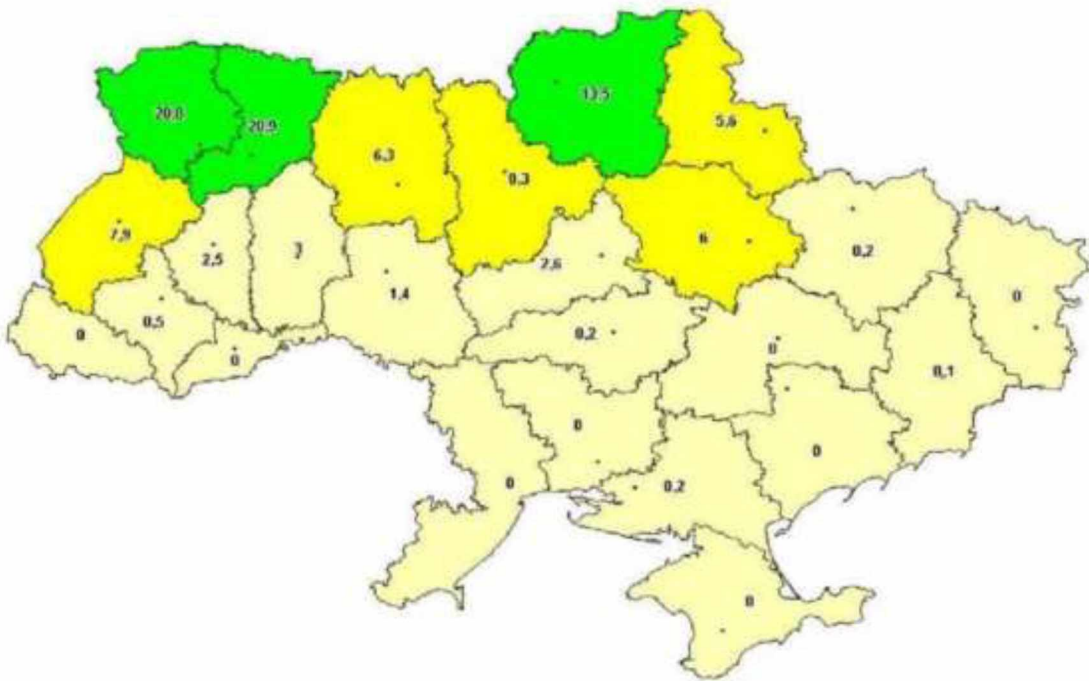


Рис. 1. Розподіл орфовищ в Україні.

Жовтий колір – регіони із загальною площею торфовищ між 5 та 10000 га .

Зелений колір – регіони із загальною площею торфовищ менше 10000 га.



Рис. 2. Зміни торфовищ у різних регіонах України за період з 1959 по 2005 роки.

Червоний колір – регіони з рівнем втрат торфовищ більше 30 тис. га.

Жовтий колір – регіони з втратою торфовищ від 10 до 30 тис. га.

Синій колір – регіони з втратами меншими 10 тис. гектарів, але більше ніж 5 тис. га.

Функціонуючі торфовища забезпечують численні додаткові переваги, включаючи збереження біорізноманіття, захист від повеней, фільтрацію води та інші [38]. Повторне зволоження та відновлення осушених торфовищ може відновити надання екосистемних послуг, але оскільки відновлення середовищ існування та екосистем до їх початкового стану часто є складним, відновлені торфовища можуть не забезпечувати такого ж рівня біорізноманіття та інших переваг, як збережені торфовища [39]. Існує ризик того, що повторне зволоження торфовищ може потенційно скласти конкуренцію лісорозведенню і веденню сільського господарства, але конкуренція буде відносно низькою, оскільки загальна площа торфовищ обмежена [40].

Відновлення та повторне зволоження торфовищ має бути стійким до впливу зміни клімату, щоб забезпечити постійне зберігання вуглецю. При відновленні слід враховувати те, що повторне зволоження на одній ділянці

може спричинити екологічних витоків за межами цієї ферми (тобто в гідрологічно пов'язаних системах).

1.3. Агролісомеліораційні системи

Агролісомеліораційні системи об'єднують деревну рослинність (дерева або кущі) із рослинними та/або тваринними системами, зберігаючи вуглець у надземній біомасі та в ґрунтах. Агролісівництво охоплює приблизно 8,8% використовуваних сільськогосподарських площ ЄС [41]. Більшість існуючих систем в ЄС є системами лісового пасовищного агролісомеліорації, які зазвичай поєднують випас тварин, кормовиробництво. Багато агролісомеліораційних систем є давно створеними, місцево адаптованими системами. Сучасне лісокультурне агролісомеліорація поєднує вирощування орних або садових культур з деревними багаторічними насадженнями, часто в форма чергування смуг поперек поля.

Потенціал накопичення вуглецю в агролісомеліорації в ЄС варіює у межах 0,3–27 т CO₂-е/га/рік або загалом 7,7–234,8 Мт CO₂/рік [42]. Ця оцінка не включає органічний вуглець (SOC) підземного ґрунту, тому загальний потенціал поглинання, може бути недооцінений, оскільки показано, що запаси SOC в агролісомеліорації вищі, ніж у звичайних орних землях [43]. Наприклад, потенціал швидкості поглинання SOC під живоплотами становить 1,1-3,3 т CO₂-е/га/рік, а накопичення біомаси живоплотом становить 6,2-15,8 т CO₂-е/га/рік протягом 20 і 50 років відповідно, що можна порівняти з темпами поглинання лісів [44].

Потенціал агролісомеліорації для пом'якшення наслідків зміни клімату залежить від типу впровадженої системи, клімату та попереднього землекористування. Лісогосподарські та лісопасовищні системи, що інтегровані на полях, пропонують високий потенціал пом'якшення наслідків, особливо з високою щільністю швидкорослих дерев [45]; збільшення рослинної маси або деревного покриву на межі поля пропонує нижчий потенціал пом'якшення. Системи з меншим потенціалом пом'якшення

наслідків може бути легше інтегрувати в ландшафт, оскільки вони впливатимуть на невелику частину сільськогосподарських угідь [46]. З точки зору загального балансу парникових газів, агролісомеліорація може зменшити пов'язані з азотом викиди на землі, де висаджені дерева [47]. Водночас необхідно враховувати викиди, що виникають під час посадки дерев через порушення ґрунту.

Стабільність кумуляції вуглецю в агролісомеліорації залежить від типу дерев та їх використання (наприклад, деревина для палива чи будівництва). Неefективне управління та природні явища можуть призвести до втрат секвестрованого вуглецю, хоча ризик пожежі, ймовірно, буде нижчим, ніж у лісових районах, оскільки проміжні культури можуть діяти як протипожежні смуги.

Підхід до агролісівництва можна адаптувати майже до будь-якої системи землеробства, зокрема країни, які мають велику частку ріллі та пасовищ, мають особливо високий потенціал для розширення агролісівництва. Застосування обмежується різними факторами, включаючи постійний характер змін, значні зміни в системах землеробства з правовими та економічними наслідками та невизначеністю для сільськогосподарських виробників, а також той факт, що агролісомеліорація є більш складним підходом до землеробства, який вимагає спеціальних знань.

Більшість агролісомеліоративних систем надають численні екосистемні послуги з мінімальними компромісами або без жодних компромісів для інших екосистемних послуг. Агролісівництво сприяє покращенню здоров'я ґрунту, захищає від ерозії, вимивання нітратів і повеней, а також має переваги для біорізноманіття (покращене середовище існування для диких тварин, комах, запилювачів) [48].

Системи агролісівництва, які забезпечують найвищий потенціал пом'якшення, можуть зменшити врожайність окремих продовольчих або кормових культур порівняно з системами окремих орних або пасовищних угідь. Однак навіть у короткостроковій перспективі ці зміни врожайності

залежать від того, як система оптимізована та від біофізичних умов. Вплив зниження продуктивності на рівні ділянки також може зменшитися у більших масштабах через ефективне використання поживних речовин і світла в системах агролісомеліорації, пов'язаних із наявністю як дерев, так і сільськогосподарських культур [49]. Покращуючи мікроклімат, агролісомеліорація зменшує шкоду від посух і підвищує стійкість до впливу клімату.

Однак, агролісомеліорація може мати меншу ефективність на торф'яних ґрунтах через ризик викидів парникових газів під час посадки дерев [1]. Щоб зберегти біорізноманіття, збереження та відновлення давно сформованих систем агролісівництва має стати пріоритетом, а нове агролісорозведення має відповідати місцевим умовам (наприклад, системи інтенсивного короткочасного вирощування порослів не слід вводити на сільськогосподарських угіддях з існуючою високою цінністю для біорізноманіття).

1.4. Накопичення органічної речовини на мінеральних ґрунтах

Підтримка та накопичення органічної речовини ґрунту вимагає позитивного балансу надходження вуглецю та втрат вуглецю з ґрунтів. Це актуально для будь-якої системи землеробства та широкого спектру методів вирощування вуглецю. У цьому розділі зосереджено увагу на поглинанні органічної речовини ґрунту на орних землях та луках.

Найвищий потенціал підтримки та підвищення вмісту органічної речовини ґрунту мають: 1) покривні культури; 2) покращені сівозміни (наприклад, за рахунок включення бобових та інших азотфіксуючих культур); 3) утримання травостою без розорювання; 4) перетворення ріллі на пасовище; 5) органічне землеробство; 6) управління пасовищами та пасовищами (наприклад, шляхом оптимізації щільності поголів'я або оновлення пасовищ).

Потенціал поглинання органічної речовини ґрунту сільськогосподарськими угіддями ЄС коливається від 9 Мт CO₂-екв/рік до 58 Мт CO₂-екв/рік до 70 Мт CO₂-екв/рік [50]. Крім того зупинка втрати та відновлення органічної речовини ґрунту є однаково важливими. Для луків та пасовищ ЄС потенціал поглинання вуглецю становить 27 Мт CO₂-е на рік. Порівняно з іншими варіантами вуглецевого землеробства, потенціал пом'якшення поглинання органічної речовини ґрунту на орних землях і луках є більш обмеженим і невизначеним, а реальний потенціал пом'якшення може бути більш обмеженим. На рівні локального виробника та ділянки потенціал секвестрації може суттєво відрізнятися через неоднорідність ґрунтів, кліматичні умови, існуючі рівні вмісту органічної речовини ґрунту та методи управління. Це може збільшити витрати та ускладнює оцінку можливого потенціалу. Глинисті ґрунти та ґрунти з нижчим вмістом органічної речовини ґрунту мають вищий потенціал пом'якшення. Потенціал пом'якшення обмежений ґрунтами, які досягають рівнів насичення органічної речовини ґрунту. Не досить дослідженим питанням є використання біовугілля як стратегії збільшення органічної речовини ґрунту у мінеральних ґрунтах. Чистий ефект біовугілля є дуже невизначеним, якщо взяти до уваги весь життєвий цикл і негативний вплив на здоров'я ґрунту та біорізноманіття через потенційні забруднювачі. Ризики для навколишнього середовища може мати використання компосту, оскільки стандарти якості важко контролювати та існує ризик забруднення мікропластиком та іншими забрудненнями.

В Україні запаси органічної речовини ґрунту за основними типами ґрунтів змінюються в широких межах: гумус від 100 до 720 т/га, органічний вуглець від 60 до 420 т/га (табл. 2). Загальні запаси органічного вуглецю в ґрунтах України становлять близько 7 Гт. Це можна порівняти з 1/3 запасів ґрунтового вуглецю в сільськогосподарських ґрунтах ЄС у шарі 0 – 30 см [19].

Тип ґрунту	Вміст органічної	Запаси гумусу в	Запаси ґрунтового
------------	------------------	-----------------	-------------------

	речовини в орному шарі, %	профілі	органічного вуглецю в профілі
		т/га	
Чорноземи:			
звичайні	3,5-5,7	200-550	116-319
типові	2,5-6,0	300-600	174-368
південні	3,0-3,5	200-250	116-145
опдізолені	2,6-4,5	220-350	128-203
чорноземно-лучні ґрунти	3,0-7,2	360-720	209-418
Сірі лісові	1,3-3,5	100-230	58-133
Дерново-підзолисті	2,0-3,7	150-280	87-162

Тривале розорювання ґрунтів та їх сільськогосподарське використання без достатнього внесення добрив призводить до значних утрат гумусу.

Найбільші втрати гумусу в ґрунтах України відбулися в 60–80-х роках минулого століття через збільшення частки буряків цукрових і кукурудзи в сівозмінах. Дослідження [51] свідчать про те, що втрати гумусу відбуваються на 43% ріллі країни зі швидкістю до 620 кг/га за рік (еквівалентно втратам ґрунтового органічного вуглецю 360 кг/га за рік) залежно від структури посівних площ, способів обробки ґрунту і норм унесення органічних добрив [52]. Зменшення вмісту гумусу відбувається переважно за рахунок таких чинників: високого рівня розораності катастрофічного зменшення внесення в ґрунт органічних добрив (упродовж останніх 10-ти років вносять менше 1 т/га замість рекомендованих 8-14 т/га); незбалансованого використання мінеральних добрив: їх відсутність або занадто низькі чи високі норми; порушення структури посівних площ; вирощування монокультури, зменшення площ багаторічних трав і зернобобових культур; високої інтенсивності обробки ґрунту.

Перевагами підтримки та збільшення вмісту органічної речовини ґрунту є покращення структури та родючості ґрунту, збільшення водоутримувальної здатності та загальної стійкості до впливу клімату.

Оптимальний вміст органічної речовини також зменшує ризик ущільнення та ерозії ґрунту. Управління органічною речовиною ґрунту слід розглядати як варіант адаптації через значні переваги для здоров'я ґрунту та його малодосліджений потенціал пом'якшення змін клімату.

1.5. Управління тваринництвом та відходами тваринництва

Заходи з тваринництвом та відходами тваринництва передбачають будь-які дії, вжиті з метою скорочення викидів від їхньої сільськогосподарської діяльності [1], охоплюючи всі типи худоби, включаючи ВРХ, овець, свиней та інші. Заходи включають заходи, спрямовані на: безпосереднє зниження кишкового метану (включаючи кормові добавки та покращену перетравність/ефективність корму); зменшення викидів закису азоту за допомогою управління відходами тваринництва (включаючи зберігання та переробку гною, анаеробне зброджування та біометан, а також покривні культури); підвищення ефективності включаючи управління тваринами для підвищення продуктивності (через управління стадом і управління кормами); та покращення фертильності тварин [53]. Тваринництво може збільшити поглинання вуглецю ґрунтом на своїх землях за допомогою випасу худоби та управління пасовищами. Викиди метану від утримання тваринництва у 2019 році в межах ЄС створювали 220 Мт CO₂-е на рік (ЕЕА, 2021а). Міжнародні дослідження стверджують, що управління тваринництвом має потенціал до зменшення викидів на 26-66 Мт CO₂-е. [54]. В Україні обсяг викидів парникових газів від ведення тваринництва демонструє тенденцію до зменшення майже на 10,3 млн.т. CO₂ екв.

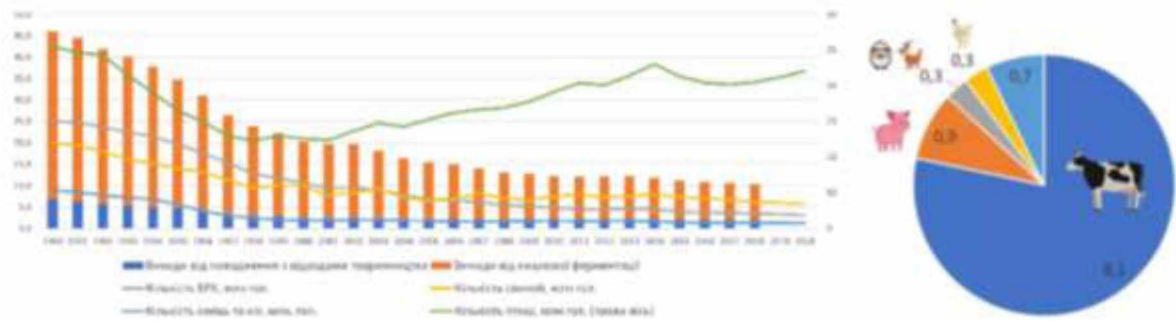


Рис. 3. Динаміка викидів парникових газів від тваринництва.

Потенціал пом'якшення наслідків суттєво відрізняється в різних типах тваринницьких ферм і місцях, причому обмежені системи (такі як свинарство) та високоінтенсивне сільське господарство (таке як молочне скотарство) краще підходять для впровадження кормових добавок/вакцин або варіантів управління гноєм; ці варіанти були б менш здійсненними в системах низької інтенсивності, які, однак, могли б реалізувати параметри ефективності та секвестрації. Непослідовність є лише проблемою для поглинання вуглецю, тоді як варіанти пом'якшення наслідків у тваринництві зосереджені на скороченні викидів (тобто нижче рівня викидів, який мав би місце в іншому випадку, «базового рівня»).

Різні заходи пом'якшення впливу на худобу та поводження з гноєм створюють різні супутні переваги та ризики. Наприклад, заходи пом'якшення, орієнтовані на ефективність (такі як підвищення ефективності кормів, управління стадом, розведення) можуть забезпечити значну економію коштів фермерам. Управління внесенням поживних речовин може позитивно вплинути на якість води (і відповідних екосистем); оптимальне управління випасом може покращити здоров'я ґрунту, зменшити використання води, зменшити ерозію ґрунту та покращити стан ґрунту та біорізноманіття [55]. Деякі дії можуть збільшити використання електроенергії, тоді як деякі підходи до управління гноєм можуть збільшити забруднення поживними речовинами та негативно вплинути на екосистеми ґрунту, зокрема через ущільнення ґрунту [56].

Під час оцінки дій із вирощування вуглецю важливим є врахування добробуту і здоров'я тварин. Крім того, щоб гарантувати реальні переваги для клімату, фермери не повинні отримувати винагороду за підвищення ефективності, а лише за фактичне скорочення викидів (тобто скорочення т CO₂-е).

1.6. Управління поживними речовинами ґрунту на ріллі та луках

В Україні викиди парникових газів від ведення рослинництва демонструють сталу тенденцію до зростання за рахунок збільшення використання мінеральних азотних добрив (Рис.4.). У 2018 році викиди вуглецю становили 33,5 млн. т. CO₂-екв.

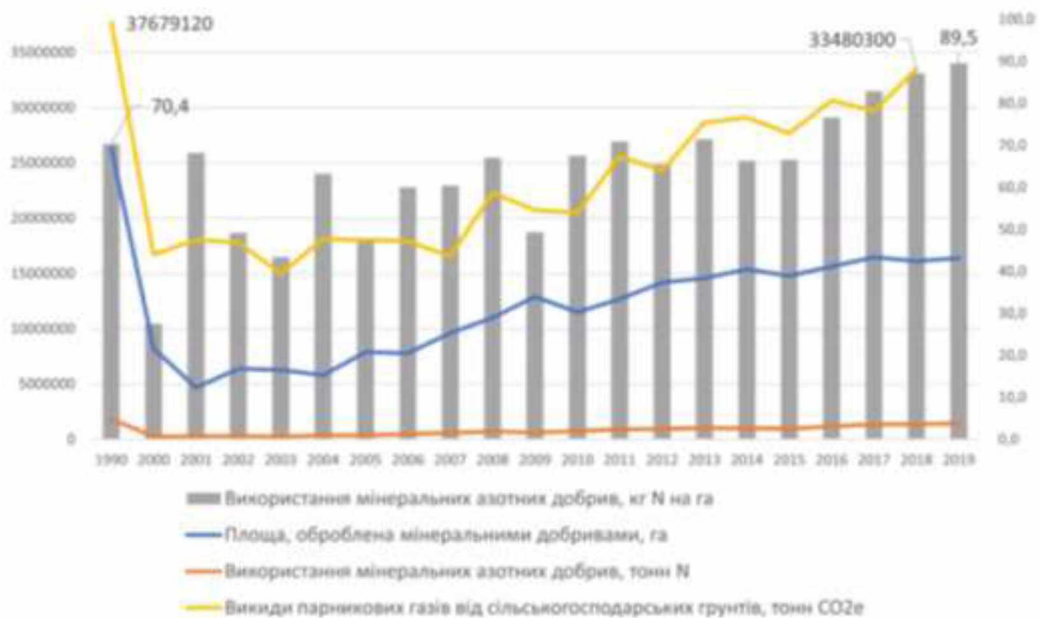


Рис. 4. Динаміка викидів парникових газів від ведення рослинництва.

Джерело: <https://www.slideshare.net/MykolaShlapak/ss-245114402>

Поряд з тим, викиди парникових газів є втратою органічного вуглецю ґрунту. У ґрунтах ріллі почали переважати процеси виділення вуглецю, порівняно із поглинанням. Так, у 2018 році обсяг викидів парникових газів перевищив обсяг поглинання вуглецю лісами. Тому, покращення якості ґрунтів має значний потенціал до скорочення викидів парникових газів та пом'якшення зміни клімату.

Управління поживними речовинами зосереджується на діяльності, яка дозволяє уникнути викидів N_2O , які є результатом застосування добрив і поводження з гноєм. Ключовими стратегіями є вдосконалення планування поживних речовин і покращення термінів внесення добрив, з метою уникнення надмірного внесення добрив. Вплив методів управління поживними речовинами може бути більш значним у поєднанні з такими агрономічними методами, як вирощування бобових культур, управління рештками/внесення залишків або включення тимчасових галявин/лугів у сівозміну.

Дослідження [61] оцінюють рентабельний потенціал пом'якшення наслідків у 19 Мт CO_2e /рік завдяки покращенню управління поживними речовинами в ЄС. Їхні оцінки враховують пряме та непряме скорочення викидів N_2O та CO_2 внаслідок зменшення виробництва добрив, а також інгібіторів нітрифікації. Щоб забезпечити абсолютне скорочення викидів, потрібен комплексний підхід до моніторингу загального використання добрив. Підвищення ефективності внесення добрив зменшує загальне внесення добрив і надмірне внесення добрив, а отже, вимивання азоту. Це, у свою чергу, захищає поверхневі та підземні води та зменшує витрати, пов'язані зі зниженням рівня нітратів у питній воді, а також негативний вплив евтрофікації. Підвищення продуктивності не призводить до зниження врожайності. Такі заходи \ економічно ефективними для сільськогосподарських виробників, оскільки вони заощаджують витрати на вхідні ресурси.

Для підтримки здоров'я ґрунту та водоутримуючої здатності підвищення ефективності використання синтетичних добрив слід поєднувати із заходами, які покращують здоров'я ґрунту, такими як покращення сівозмін, покривних культур, включення тимчасових луків та запобігання ущільненню ґрунту.

РОЗДІЛ II

ПОТЕНЦІАЛ ВУГЛЕЦЕВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА У ПОМ'ЯКШЕННІ НАСЛІДКІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ

2.1. Потенціал щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та його джерела

В Україні за даними Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів загальні викиди парникових газів у 2019 році склали 332,2 млн. т CO₂-екв. Але варто зазначити, сумарні викиди парникових газів у 2019 році скоротилися на 62,4 %, порівняно із 1990 роком. Але порівняно із 2018 року - збільшилися на 2,5 % або на 8,5 тис. т CO₂-екв. Загальні викиди парникових газів в ЄС у 2019 році становили 3637 Мт CO₂ [3]. За проведеними оцінками загальний додатковий потенціал зменшення викидів вуглецевого сільського господарства оцінюється на рівні 101-444 Мт CO₂-е на рік. Це еквівалентно приблизно 3-12% загальних річних викидів парникових газів в ЄС. Це означає, що вуглецеве сільське господарство може компенсувати 26% річних сільськогосподарських викидів ЄС. Однак, потребує підтвердження фактичний потенціал вуглецевого сільського господарства.

Дослідження потенціалу пом'якшення впливу вуглецевого землеробства зазвичай оцінюють потенціал для однієї конкретної підкатегорії вуглецевого землеробства або ізольованого заходу пом'якшення, припускаючи, що все інше залишається незмінним. Витік відбувається, коли впровадження вуглецевого землеробства в конкретному випадку призводить до збільшення (або меншого скорочення) викидів в іншому випадку. Цей ефект «водяного ложа» зменшує фактичний вплив викидів вуглецю на пом'якшення наслідків, оскільки зниження викидів в одній зоні викликає хвильовий ефект в іншому місці. Але дослідження можуть не враховувати потенційні компроміси та взаємодію між різними підкатегоріями вуглецевого землеробства або змінами у землекористуванні. Землі

сільськогосподарського призначення часто можуть переходити з одного землекористування в інший. Зі збільшенням стимулів для ведення сільського господарства, що сприятиме зниженню викидів парникових газів, відбудуться не лише зміни в управлінні типами виробників, а й перехід від сільського господарства з високою інтенсивністю викидів до ферм із меншою інтенсивністю викидів: у довгостроковій перспективі землекористування має відображати (серед інших факторів) відносну ефективність, з якою земля може забезпечувати продуктами харчування людей на викиди вуглецю [57]. Неврахування цих аспектів витоків та конкуренції за землю значно впливає на надійність оцінок потенціалу пом'якшення.

Мінливість оцінок потенціалу пом'якшення також відображає основну невизначеність, пов'язану з вимірюванням впливу дій із вирощування вуглецю. Беручи як приклад вуглець у ґрунті, бракує згоди щодо підходів до вимірювання та моніторингу вуглецю в ґрунті, дуже різноманітних біофізичних контекстів і браку даних про заходи щодо вирощування вуглецю в багатьох контекстах [58]. Змінні методології також призводять до різних результатів глобальних досліджень.

Витік може мати форму перенесення діяльності, коли фермери зменшують діяльність в одній сфері, але збільшують її в інших сферах, наприклад, шляхом переміщення худоби в інше господарство. Витік також може виникнути через ринкові ефекти, коли дії вуглецевого землеробства зменшують виробництво, а це може призвести до зростання цін, що стимулює збільшення виробництва в інших місцях. Екологічний витік також може статися, наприклад, коли повторне заболочування торфовищ на одній фермі призводить до нижчого рівня ґрунтових вод на сусідніх полях і, отже, більших викидів.

2.2. Розподіл потенціалу вуглецевого землеробства

Потенціал пом'якшення наслідків зміни клімату різних варіантів вуглецевого сільського господарства значно відрізняється між країнами.

Огляд літературних джерел вказує на мінливість показника потенціалу пом'якшення у країнах західної та східної Європи. Чітка відмінність полягає в тому, що пом'якшення наслідків шляхом відновлення та уникнення деградації торф'яних ґрунтів зосереджено в північній Європі, з лише невеликим загальним потенціалом у південній Європі; ця мінливість стає ще більшою, якщо дивитися на статистичні дані на рівні країни, які ілюструють більшість потенційних можливостей у північній, західній та центральній Європі: Фінляндія, Німеччина, Польща, Ірландія та Швеція представляють 74% можливого потенціалу. Зворотне вірно для агролісівництва, де економічно ефективний потенціал пом'якшення наслідків зосереджений переважно в Південній та Східній Європі; найбільший потенціал можна знайти в Іспанії, Італії, Німеччині, Польщі та Румунії, які разом представляють 66% можливого потенціалу. Економічно ефективний потенціал пом'якшення, пов'язаний із худобою та мінеральними ґрунтами, більш рівномірно розподілений по регіонах ЄС. Покращене розуміння потенціалів потрібне для керівництва розробкою політики. Наприклад, очікуваний потенціал у національному та регіональному масштабі, а також розуміння того, які конкретні методи ведення сільського господарства мають найбільш значний вплив на SOC, можуть сприяти націленню заходів SOC на ті території, які мають найвищий потенціал пом'якшення, зокрема на деградовані ґрунти [1].

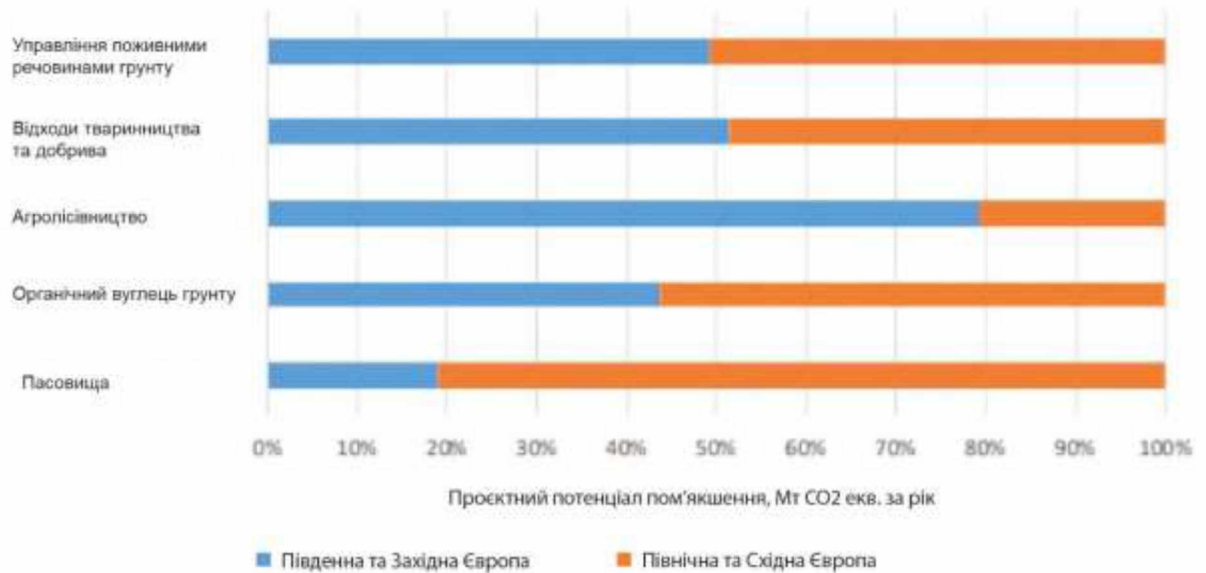


Рис. 5. Розподіл можливого потенціалу зменшення викидів CO₂ в європейських регіонах. Джерело: Roe et al., 2021.

У 2017 році викиди від сектору сільського господарства в Україні склали 38,9 Мт CO₂-екв. а основні джерела включали сільськогосподарські ґрунти (70,0%), кишкове бродіння (22,1%) та використання гною (4,9%).

Викиди від використання орних земель склали 39,6 Мт CO₂-екв. залежать від втрат органічного вуглецю ґрунтом через більш інтенсивну сільськогосподарську практику та зменшення використання органічних добрив. Втрата органічного вуглецю ґрунту зумовлена негативним балансом між надходженням азоту та вуглецю у вигляді гуміфікації мертвої органіки та органічних добрив з одного боку та виносом азоту та вуглецю з основною продукцією (урожаєм), побічними продуктами та рослинні залишки в результаті процесу мінералізації гумусу ґрунту з іншого боку [60]. Протягом останніх 5 років викиди від сектору сільського господарства залишалися відносно стабільними в діапазоні 37-40 Мт CO₂-екв. на рік, у той час як викиди в підсекторі орних угідь продемонстрували ширшу варіацію в діапазоні 40-47 Мт CO₂-екв. на рік [61].

Стратегія розвитку з низьким рівнем викидів в Україні передбачає індикативну ціль викидів парникових газів на 31-34% до 2050 року порівняно

з рівнем 1990 року та охоплює аспекти, пов'язані з сільським господарством, у всіх трьох основних цілях:

Ціль I: Перехід до енергетичної системи, яка передбачає використання джерел енергії з низьким вмістом вуглецю та розвиток джерел чистої електроенергії та тепла;

Ціль II: Збільшення обсягів поглинання та поглинання вуглецю за допомогою найкращих практик пом'якшення наслідків зміни клімату в сільському та лісовому господарстві;

Ціль III: Зменшення викидів парникових газів, таких як метан і оксид азоту, переважно пов'язаних із виробництвом викопного палива, сільським господарством і відходами.

Інформаційні та телекомунікаційні технології надають різноманітні переваги фермерам з точки зору економії коштів, ефективності використання ресурсів, оптимізації праці, а також можуть підтримувати діяльність із пом'якшення клімату в сільськогосподарському секторі, зокрема, такими способами:

- зменшення викидів закису азоту за рахунок ефективнішого диференційованого використання мінеральних добрив і пов'язане з цим скорочення викидів CO₂ від спалювання викопного палива в процесі виробництва добрив;

- скорочення викидів CO₂ від спалювання викопного палива за рахунок більш ефективного використання дизельного палива для сільськогосподарських процесів;

- опосередкований вплив на викиди парникових газів від сектору землекористування через контроль за практикою землекористування та зміни у землекористуванні.

Відповідно до кліматичної політики України, контроль парникових газів від сільського господарства передбачає:

- розробку системи показників та методики оцінки впливу зміни клімату на сільське господарство (з урахуванням природно-кліматичних зон);

- розробку агрокліматичної системи раннього оповіщення сільгоспвиробників про настання надзвичайних кліматичних явищ;
- сприяння розвитку органічного (біологічного, екологічного) виробництва, що передбачає широке використання біологічних підходів у сільгоспвиробництві (використання гною, сидератів, мінімізація обробки ґрунту, біологічне розпушування і структуризація ґрунту, біологічне переведення азоту в органічні сполуки, біологічна боротьба з бур'янами, збудниками хвороб та шкідниками, відмова від застосування пестицидів або регламентоване їхнє використання тощо);
- розробку програми стимулювання впровадження ґрунтозберігаючих кліматично-орієнтованих підходів ведення сільського господарства в Україні в умовах зміни клімату, в якій слід передбачити заходи щодо впровадження технологій для збереження та покращення родючості ґрунтів (нульових технологій вирощування (No-till), ґрунтозберігаючих технологій (Mini-till), смугових, комбінованих технологій (Strip-till) та ін.);
- започаткування реалізації пілотних проектів із ведення кліматичноорієнтованого сільського господарства, а також із «озеленення» сільськогосподарських земель;
- забезпечення надання підтримки сільгоспвиробникам (насамперед, дрібнотоварним) для ведення аграрного та неаграрного бізнесу з урахуванням впливу зміни клімату на цей процес (у спосіб, зокрема, передбачення надання їм «зелених» та «кліматичних» кредитів, розвитку агрострахування та ін.);
- сприяння залісненню територій, збільшенню площ лінійних лісових насаджень на землях сільськогосподарського призначення (лісосмуг), оптимізації породновікового складу лісових насаджень, для попередження деградації ґрунтового покриву агроугідь;
- сприяння впровадженню ефективних систем та нових способів зрошення земель, поліпшенню стану меліорованих угідь, зокрема, застосуванню водо-

та енергозберігаючих екологічно безпечних режимів зрошування і водорегулювання;

- формування запитів на проведення профільними науковими установами фундаментальних та прикладних досліджень щодо впливу зміни клімату на сільгоспвиробництво, пріоритетами яких мають стати розвиток біотехнологій та селекції, підвищення ефективності водокористування, покращення агрокліматичного обслуговування тощо.

2.3. Заходи, що забезпечують реалізацію потенціалу пом'якшення зміни клімату.

2.3.1. Моніторинг, звітування та верифікація

З метою забезпечення позитивного впливу вуглецевого землеробства на клімат, потрібно забезпечити вимірювання певних параметрів та характеристик, що забезпечують цей процес. Це досягається шляхом моніторингу, звітності та верифікації. Моніторинг має на меті вимірювання зменшення викидів або збільшення їх поглинання; звітування та процеси передачі цих результатів. Забезпечення моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів має важливе значення для того, щоб заходи з пом'якшення викидів парникових газів і видалення вуглецю були цілісними для навколишнього середовища, реальними, додатковими, вимірними, постійними та уникали витоків вуглецю для подвійного підрахунку.

Однак, високі витрати на моніторинг, звітування та верифікацію можуть зменшувати чисту вигоду від вуглецевого землеробства та можуть стати суттєвою перешкодою для сільськогосподарських виробників, які добровільно впроваджують дії щодо вуглецевого землеробства.

Моніторинг може бути досягнутий прямим вимірюванням, моделюванням або комбінованими підходами моделювання/вимірювання. *Прямі вимірювання* – це вимірювання безпосередньо на місці вуглецю (наприклад, у деревах, ґрунті) або викидів парникових газів. Прямі

вимірювання можуть відстежувати вплив парникових газів із значною точністю.

Моделювання – оцінка викиди та поглинання парникових газів на основі комбінації вимірних проксі-даних та наукових взаємозв'язків. Моделювання потребує попередніх наукових досліджень для встановлення зв'язків між проксі та оціненими викидами/поглинанням. Моделювання має вищу похибку, ніж пряме вимірювання, але менші витрати.

Важливим є те, щоб заходи моніторингу фіксували усі впливи вуглецевого землеробства на клімат. Відсутність моніторингу всіх парникових газів може призвести до хибних результатів. Наприклад, є докази того, що висаджування дерев на торфовищах може призвести до чистого негативного накопичення вуглецю (оскільки втрачений вуглець у ґрунті з осушених торф'яників переважає будь-яке збільшення надземних накопичень вуглецю (у деревах); необхідно контролювати обидва ці запаси вуглецю, а також викиди закису азоту, метану та вуглекислого газу.

Різні підходи до моніторингу можуть застосовуватися для моніторингу вуглецевого землеробства на рівні ферми в різних підкатегоріях вуглецевого землеробства. Вони можуть контролювати вплив парникових газів з різними рівнями невизначеності та вартості, залежно від властивих проблем у різних підкатегоріях вуглецевого господарства та через різні рівні методології моніторингу та розвитку технологій.

Враховуючи важливість моніторингу як засобу розвитку вуглецевого землеробства, дослідження та розробки повинні зосереджуватися на доступних та надійних технологіях таких як дистанційне зондування або джерелах даних. Нові технології моніторингу повинні бути критично оцінені, щоб забезпечити надійність, наприклад, щоб переконатися, що вони охоплюють повний вплив парникових газів замість охоплення лише окремих або часткового впливу заходів пом'якшення [18].

Процеси звітності та перевірки особливо важливі, якщо використовується пом'якшення викидів вуглецю. генерувати компенсаційні

кредити, які використовуватимуться іншими секторами замість власних скорочень викидів. Без надійної звітності та верифікації, включно з випадковим і цільовим аудитом, безпечними системами реєстру та довгостроковими зобов'язаннями щодо звітності, існує значний ризик того, що пом'якшення викидів вуглецю може бути низькою якістю.

З метою збільшення позитивного ефекту вуглецевого землеробства на клімат та його пом'якшення вплив має бути стабільним (тобто рівні парникових газів мають бути нижчими, ніж вони були б у довгостроковій перспективі). Враховуючи довгостроковий характер кліматичної проблеми, немає сенсу зберігати вуглець протягом коротких періодів часу, якщо є ймовірність його повторного вивільнення, тому важливо, щоб пом'якшення викидів вуглецю було постійним [56].

Стабільність є особливою проблемою для пом'якшення викидів вуглецю шляхом поглинання та зберігання (тобто вуглецю, видаленого з атмосфери та збереженого на сільськогосподарських угіддях у біомасі. Цей поглинутий вуглець є нестабільним і може вивільнитися навмисно або ненавмисно: Наприклад, накопичений вуглець з ґрунту може швидко вивільнитися через навмисні дії, такі як зміна режиму вирощування сільськогосподарських культур або повторне запровадження обробки ґрунту; прикладом ненавмисного вивільнення вуглецю є посуха або пожежа призводять до втрати агролісомеліоративних дерев, вивільняючи накопичений вуглець [1]. Проблема нестійкості вивільнення та накопичення вуглецю ускладнюється для ґрунту (на торфовищах чи мінеральних ґрунтах), оскільки моніторинг сталості набагато складніший. Стабільність не є ризиком для дій зі зменшення викидів вуглецевого сільського господарства, таких як управління тваринництвом та його відходами або дії з управління поживними речовинами, які зменшують викиди метану та оксиду азоту. Після такого скорочення викидів парникові гази залишаються поза атмосферою і не можуть бути навмисно чи ненавмисно вивільнені пізніше.

Пом'якшення зміни клімату за ведення вуглецевого землеробства повинно бути додатковою умовою, як процес стимулювання та винагороди. Такі процеси мають на меті підвищити економічну ефективність та вплив на клімат. Наприклад, щоб уникнути винагороди фермерів за безцінь, платежі за вуглецеве сільське господарство повинні платити лише за пом'якшення, яке виходить за рамки того, що фермери зробили б без перспективи отримання фінансової винагороди. Додатковим є лише пом'якшення наслідків вуглецевого землеробства, яке виходить за рамки того, що відбулося б без політики вуглецевого землеробства. Це має вирішальне значення, якщо пом'якшення викидів вуглецевого господарства використовується для отримання компенсацій, які інші сектори можуть використовувати як альтернативу пом'якшенню наслідків у власному секторі. Якщо пом'якшення викидів вуглецю в сільському господарстві не є додатковим (тобто немає реальних скорочень або поглинання відносно звичайного бізнесу), то використання їх як компенсації замість скорочення викидів деінде погіршить зміну клімату. Цей тип пом'якшення називається видаленням вуглецю (де відбувається нове поглинання) або уникненням викидів (де вуглець, який був би вивільнений замість цього, продовжує зберігатися).

Додатковість часто оцінюється порівняно з базовою лінією, яка має на меті описати, що сталося б за відсутності політики стимулювання вуглецевого сільського господарства. Ця базова лінія діє як контрфактична, з якою порівнюється фактичне пом'якшення. Все, що виходить за його рамки (тобто будь-яке поглинання, що перевищує базову лінію, або скорочення викидів нижче базової лінії), вважається додатковим. Базові показники можна розробити різними способами, які мають різні сильні та слабкі сторони. Розробка складних базових показників може бути дорогим і трудомістким для учасників та адміністраторів, у деяких випадках вимагаючи історичних даних, які не завжди доступні [1].

На додатковість також впливає витік. Якщо дії вуглецевого землеробства призводять до збільшення викидів за межами контрольованої

системи (наприклад, через переміщення тварин із контрольованих ферм на неконтрольовані), тоді фактичний додатковий вплив вуглецевого землеробства на клімат пропорційно зменшується.

Наприклад, базові показники можуть бути встановлені в ретроспективному плані (наприклад, середнього секвестру на фермі за останні три роки), перспективних сценаріїв (наприклад, який рівень секвестру ми очікуємо на фермі протягом наступні десять років, враховуючи поточну політику та характеристики ферми) або на основі контрольних показників (наприклад, який рівень викидів/поглинання ми очікуємо, враховуючи тип ферми). Вони можуть бути розроблені спеціально для окремої ферми або можуть бути стандартизовані, коли однакова базова лінія застосовується до всіх ферм (або використовуються усереднені стандартизовані правила для створення базової лінії для окремих ферм) [1].

2.4. Переваги та ризики вуглецевого землеробства

У той час як вуглецеве сільське господарство чітко спрямоване на пом'якшення кліматичних наслідків, часто ці дії забезпечують інші екологічні, адаптаційні та соціально-економічні вигоди. Деякі з цих додаткових переваг отримують фермери (наприклад, економія коштів, підвищення продуктивності), що робить вуглецеве сільське господарство більш привабливим; іншими супутніми вигодами є суспільні блага (такі як збереження біорізноманіття, вплив на якість води), які можуть виправдати збільшення державного фінансування вуглецевого землеробства. Водночас існує ризик того, що деякі заходи з пом'якшення наслідків можуть призвести до пом'якшення наслідків, але негативно вплинути на інші фермерські чи суспільні цілі. Приклади цих ризиків включають потенційний негативний вплив на здоров'я ґрунту деяких заходів із зменшення вмісту органічного вуглецю в ґрунті (таких як біовугілля чи міський компост), або негативний вплив на біорізноманіття чи адаптацію, пов'язаний із впровадженням агролісомеліоративних заходів, які не відповідають місцевим умовам. Дії вуглецевого землеробства, які стійко використовують переваги природних

систем, таких як ґрунти та дерева, і, отже, забезпечують переваги біорізноманіття, покращують добробут людей, а також пом'якшення наслідків, можна назвати рішеннями, заснованими на природі [4]

Щоб переконатися, що вуглецеве сільське господарство підтримує соціальні, екологічні та соціально-економічні цілі Європейської зеленої угоди, важливо максимізувати додаткові вигоди та зменшити ризики під час розробки та впровадження платежів і механізмів вуглецевого землеробства. На додаток до моніторингу впливу вуглецевого землеробства на пом'якшення наслідків слід також контролювати вплив на інші цілі (наприклад, захист та покращення біорізноманіття, переваги якості/кількості води, стійкість ферм, зменшення ризику повеней та ерозії ґрунту). Крім того, політика стимулювання вуглецевого сільського господарства повинна включати достатні гарантії, щоб уникнути негативного впливу, наприклад, «негативні списки», що виключають дії з вуглецевого землеробства, які будуть шкідливими в певних контекстах, регулярну оцінку політики та моніторинг, який охоплює всі парникові гази. Враховуючи потенційні масштаби та вплив вуглецевого сільського господарства, неврахування кліматичних впливів і впливу, пов'язаного з пом'якшенням наслідків, створює значний ризик або може не врахувати численні переваги, які може запропонувати фінансування вуглецевого сільського господарства. Не всі дії з вуглецевого землеробства є природоорієнтованими рішеннями, наприклад, технологічні дії, такі як анаеробні реактори або інгібітори нітрифікації, не приносять користі біорізноманіттю і, отже, не відповідають вимогам.

РОЗДІЛ III

ВУГЛЕЦЕВЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО ЯК БІЗНЕС-МОДЕЛЬ

Термін «вуглецеве сільське господарство» розглядається і у якості бізнес-моделі, коли виробникам сільськогосподарської продукції платять за скорочення викидів або поглинання вуглецю, щоб заохотити фермерів застосовувати методи збеігання вуглецю. Ця інтерпретація вуглецевого сільського господарства використовується для опису різних типів платежів за та різних моделей механізмів, сильних та слабких сторів для фермерів і суспільства.

3.1. Типи платежів за вуглецеве землеробство

Платежі на основі дій. Виробники сільськогосподарської продукції отримують встановлену плату за виконання певних дій, наприклад, дотримання визначеної практики ведення сільського господарства або впровадження певних технологій. Платежі на основі дій відносно прості, з низькими вимогами до моніторингу для фермерів та адміністраторів. Однак фактичний вплив платежів на основі дій щодо пом'якшення наслідків є невизначеним, оскільки оплата залежить лише від дії, а не від результату.

Платежі на основі результатів. Виробники сільськогосподарської продукції отримують виплату, яка залежить від фактичного результату пом'якшення наслідків, який вони досягають (зазвичай у т CO₂-екв., які або поглинаються, або не викидаються), незалежно від вжитих конкретних заходів. Платежі на основі результатів вимагають кількісної оцінки та верифікації результатів пом'якшення. Сильна сторона полягає в тому, що екологічна визначеність і довіра є високими завдяки чіткому зв'язку між внеском у пом'якшення наслідків та оплатою, а також гнучкість може спонукати фермерів до інновацій та адаптації заходів пом'якшення до місцевого контексту.

Змішані платежі. Поєднують виплати, засновані на діях і результатах, поєднуючи низький ризик, авансові або гарантовані виплати для фермерів за впровадження конкретних дій з управління фермою, з додатковими

виплатами на основі фактично виміряних результатів пом'якшення. Попередні платежі можуть бути використані для покриття витрат на впровадження або для зменшення фінансового ризику для фермерів. Гібридні моделі можуть підвищити зацікавленість фермерів шляхом зниження ризику та усунення початкових фінансових бар'єрів, водночас забезпечуючи фермерам гнучкість у впровадженні оптимальних заходів для своїх ферм і гарантуючи реальні кліматичні результати для суспільства.

Платежі за вуглецеве землеробство виплачуються фермерам через механізми реалізації вуглецевого землеробства. Існує чотири загальні структури механізму вирощування вуглецю. Вони відрізняються формою платежу (готівка або компенсаційний кредит, який можна продати для оплати), і, що найважливіше, рівень моніторингу, звітності та перевірки, які необхідні. Обсяг і жорсткість процесів моніторингу, загальна складність механізму визначають вартість участі для фермерів, а також адміністративні витрати, які несуть оператори механізму. Ці елементи також визначають екологічну надійність пом'якшення наслідків із пов'язаними ризиками для фермерів і суспільства.

3.2. Переваги та недоліки різних моделей механізмів реалізації вуглецевого землеробства.

Платежі за практику землеустрою є основним джерелом фінансування вуглецевого землеробства. Загальна сільськогосподарська політика Європи (CAP) використовувала цю модель для виплат підтримки фермам протягом десятиліть, причому в останні роки збільшилося використання виплат на основі практики для стимулювання покращення екологічних і кліматичних показників. Платежі за практику землеустрою мають перевагу в тому, що вони прості та, отже, низькі для адміністрування, як правило, з низькими вимогами MRV. Вони становлять низький ризик для фермерів, які знають, коли подають заявку, яка буде оплата. Хоча платежі за практику землеустрою можуть базуватися на результатах, зазвичай вони базуються на

діях, що додатково знижує ризик для фермерів [1]. Однак цей тип фінансування зазвичай залежить від державного фінансування, яке є відносно обмеженим джерелом фінансування. Враховуючи те, що фінансування платежів за практику землеустрою переважно базується на діях з обмеженим MRV, вплив пом'якшення зазвичай є невизначеним. Платежі за практику землеустрою на основі результатів передбачатимуть вищі вимоги до MRV (і витрати), але забезпечуватимуть більшу впевненість щодо результатів пом'якшення.

Україна планує створити національну СТВ відповідно до зобов'язань, передбачених Угодою про асоціацію Україна-ЄС, яка набула чинності 1 вересня 2017 року. Україна перебуває в процесі розробки основних елементів національної системи моніторингу, звітності та верифікації (МЗВ) викидів парникових газів, щоб забезпечити надійну основу для майбутньої СТВ. Вуглецевий податок включений до Податкового кодексу України як екологічний податок на забруднення атмосферного повітря стаціонарними джерелами.

Зростаюча громадська стурбованість зміною клімату спонукала деякі агропродовольчі компанії взяти на себе зобов'язання корпоративних кліматичних зобов'язань або продавати продукцію як дружню до клімату в надії заробити цінові надбавки або отримати доступ до нових ринків. Ця модель може залучити приватні джерела фінансування вуглецевого землеробства, де агропродовольчі компанії мотивуються або ціновими надбавками, або з маркетингових причин. Додатковою перевагою є те, що агропродовольчі компанії мають існуючі відносини з багатьма фермерами, що дає їм можливість встановлювати мінімальні стандарти або ефективно спілкуватися та залучати добровільну участь фермерів. Однак основний ризик цієї моделі полягає в тому, що процеси часто непрозорі. Щоб заслужувати довіри, ці механізми мають бути прозорими, що включає застосування перевірених та опублікованих методологій для кількісної

оцінки та перевірки результатів вуглецевого землеробства (з пов'язаними високими вимогами MRV, витратами та складністю).

Вуглецеві ринки. З початку 2000-х років уряди, неурядові організації та приватні компанії створили ринки для стимулювання заходів пом'якшення наслідків. Ці ринки пов'язують добровільних покупців, які хочуть заплатити за заходи пом'якшення, з проектами або окремими особами, готовими впровадити ці дії в обмін на оплату (часто у формі «компенсаційних кредитів»), що прирівнюється до видалення або скорочення 1 т CO₂-e [61]. 25 Ці добровільні вуглецеві ринки швидко зростають і мають глобальний характер: обсяг торгівлі 178 млн. тонн CO₂e у 2020 році, що на 80% більше, ніж у 2019 році, і прогнозована світова ринкова вартість у 2021 році перевищить 1 мільярд доларів США. У той час як більшість добровільних ринкових вилучень і скорочень походять від лісового господарства та відновлюваних джерел енергії, сільськогосподарські методології (скорочення викидів худоби, повторне зволоження торфовищ і поглинання вуглецю в ґрунті з'являються в Європі. Добровільні вуглецеві ринки можуть значно збільшити приватне фінансування вуглецевого землеробства, але вони також створюють ризики та виклики, залежно від типу ринку.

Добровільні вуглецеві ринки – засновані на біржі є найбільш масштабованими, теоретично здатними залучити великомасштабне приватне фінансування для вирощування вуглецю – за умови достатнього попиту. Вони засновані на методологіях, які однаково застосовуються на різних фермах, з якістю вилучень/пом'якшення, оціненим за допомогою відносно жорстких MRV. Отримані офсетні кредити вважаються «взаємозамінними», тобто, еквівалентні (і придатні для продажу) з тими, які створені за допомогою інших методів пом'якшення (таких як лісонасадження або навіть скорочення відновлюваної енергії). Однак є значні недоліки: високі витрати на MRV і відносно складна структура відкритого ринку знижують витрати для покупців та інших учасників ринку, але підвищують витрати для фермерів-учасників, часто виключаючи менші ферми (які не можуть

отримати вигоду від економії на масштабі) і зменшення чистих вигод від участі фермерів. Крім того, той факт, що ціна визначається на ринку, збільшує невизначеність і ризик для учасників ринку. Взаємозамінність офсетних кредитів призводить до загальної особливості офсетних ринків: якщо всі надбавки вважаються еквівалентними, вимоги до кредитів для виходу на ринок мають бути достатньо високими та суворими. Якщо це неможливо забезпечити, це призводить до ризику для ринку – і, зрештою, для навколишнього середовища. Якщо на ринок надходять низькоякісні кредити на вуглецеве господарство (наприклад, через невизначеність, непостійність або вразливість до шахрайства), це може підірвати та послабити довіру до ринку. Якщо такі кредити потім використовуватимуться для компенсації пом'якшення наслідків в інших секторах, це може підірвати досягнення загальних кліматичних цілей.

Добровільні вуглецеві ринки з посередниками: ці ринки, як правило, передбачають більш тісну співпрацю між фермерами та посередником, причому посередник ефективно знижує ризик і складність участі фермерів. Кредити, створені на цих ринках, зазвичай обмежуються одним типом заходів із пом'якшення наслідків або викидом вуглецю, а компенсаційні кредити часто можна продати лише один раз, а потім вилучити (тобто вони не вважаються взаємозамінними). Зазвичай посередники гарантують фермерам встановлену ціну. З цієї причини, а також через те, що покупці офсетного кредиту можуть покладатися на репутацію посередника, MRV може не мати потреби бути настільки суворим, щоб бути переконливим для покупців, порівняно з біржовим добровільним ринком вуглецю. Це може зменшити складність і витрати для фермерів (і, отже, збільшити захоплення фермерів) без збільшення екологічної невизначеності щодо біржових ринків. Однак через значну роль посередника (зазвичай за підтримки фермерських консультантів) і вартості наданих послуг посередником, розширити ці ринки складніше. Прикладом добровільних ринків є вуглецевий ринок на основі біржі, розроблений компанією Indigo (США). Компанія Indigo Carbon

розробила методологію для кількісного визначення збільшення вуглецю в ґрунті на орних землях. Базові лінії встановлюються за допомогою прямого вимірювання. Секвестр протягом десятирічної тривалості проекту потім оцінюється шляхом прямого вимірювання або моделювання з використанням даних про характеристики/управління фермою. Існує певна невизначеність щодо надійності методології щодо навколишнього середовища через витік, постійність і невизначеність моделі/вимірювання. Кредити продаються корпоративним покупцям.

Компанія MoorFutures (Німеччина) працює на добровільному ринку з посередником. Компанія працює з землевласниками, щоб розробити базовий сценарій, а потім оцінити очікувані викиди від повторного заболочування торфовищ. Фермери підписують контракти та отримують виплати за результатами. MoorFutures фінансує їх, продаючи компенсаційні сертифікати корпораціям (наприклад, McDonalds, банкам) та фізичним особам.

РОЗДІЛ IV

ПОЛІТИКА РЕАЛІЗАЦІЇ ВУГЛЕЦЕВОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЙОГО ЗВ'ЯЗКИ З ІНШИМИ СФЕРАМИ

Успішна реалізація ініціативи щодо вуглецевого землеробства неминуче залежить від наявності достатніх політичних стимулів для стимулювання попиту на дії/схеми вуглецевого землеробства, як від держав-членів так і від приватних учасників. На додаток до Спільної сільськогосподарської політики (CAP), яка залишається основним рушієм дій у сільськогосподарському секторі, суміжні політики щодо клімату та біорізноманіття є також важливими.

4.1. Сільське господарство в рамках кліматичної та енергетичної політики

Концепція кліматичної та енергетичної політики відіграє вирішальну роль для розвитку вуглецевого землеробства, оскільки визначає загальні кліматичні амбіції та зобов'язання для певних секторів економіки. За останнє десятиліття світові цілі щодо пом'якшення клімату стали більш амбітними, збільшившись з 20% скорочення від рівнів 1990 року до 2020 року до 55% до 2030 року та кліматичної нейтральності в масштабах всієї економіки до 2050 року. У той же час обсяг в відповідному законодавстві також змінилося з наслідками для кліматичних заходів у секторах сільського господарства та землекористування.

Рамки кліматичної та енергетичної політики західних країн до 2030 року були прийняті в 2018 році, з метою забезпечення скорочення викидів принаймні на 40% до 2030 року. Сільськогосподарська діяльність призводить до викидів і виділення як CO₂, так і інших парникових газів (ПГ). Ці викиди розглядаються в рамках різних стовпів структури. Сільськогосподарські викиди CO₂ (або поглинання), пов'язані зі змінами вуглецю, що зберігається в ґрунтах і біомасі внаслідок методів управління орними землями та луками, з іншого боку, охоплюються.

Нова нормативна база для сертифікації видалення вуглецю, пропозиція щодо якої очікується від Комісії наприкінці 2022 року, викладе детальні правила моніторингу, перевірки та обліку видалення вуглецю в ЄС для забезпечення надійності та прозорості. Ці зміни, якщо будуть ухвалені як запропоновано, може мати ряд наслідків для вуглецевого землеробства. Перш за все, запуск ініціативи ЄС щодо вирощування вуглецю, орієнтованої на поглинання вуглецю, і передбачена ціль щодо видалення, швидше за все, спонукатимуть держави-члени вжити заходів для збільшення поглинання CO₂ сільськогосподарськими та лісовими угіддями. У той же час, запропонована ціль у 310 Mt CO₂e залишається значно нижчою за потенціал, визначений в нещодавній науковій літературі, яка вказує на те, що щорічна абсорбція до 600 Mt CO₂e може бути досягнута в секторі LULUCF ЄС до 2030 року [6]. По-друге, стимули, надані кліматичною політикою ЄС для впровадження вуглецевих сільськогосподарських заходів, спрямованих на скорочення викидів сільськогосподарського виробництва, крім CO₂, залишаються слабкими. Це так, незважаючи на те, що є багато доказів того, що викиди парникових газів у сільському господарстві можна зменшити економічно ефективно. Запропонована інтеграція сільського господарства може ще більше затримати дії в сільськогосподарському секторі щодо скорочення викидів не CO₂. По-третє, екологічна цілісність ініціативи ЄС щодо вуглецевого землеробства залежатиме від майбутньої нормативної бази для моніторингу та перевірки видалення вуглецю в сільському та лісовому господарстві.

Для того, щоб подолати ці виклики та забезпечити, щоб вуглецеве сільське господарство зробило значний і тривалий внесок у зусилля ЄС щодо пом'якшення наслідків клімату, можна зробити наступні політичні рекомендації: уникнення та скорочення викидів парникових газів має бути першим і головним пріоритетом заходів щодо пом'якшення клімату в секторах землекористування. Цей першочерговий принцип уникнення та скорочення викидів має бути відображено в ініціативі вуглецевого

землеробства. Зокрема, це вимагає, щоб викиди, відмінні від CO₂, входили до сфери дії ініціативи. Встановлення кількісної цілі скорочення викидів парникових газів для сільського господарства може допомогти зменшити ризик того, що держави-члени значною мірою покладаються на абсорбцію для досягнення чистих цілей. Розробка надійної, прозорої та науково обґрунтованої системи сертифікації видалення вуглецю має важливе значення для забезпечення екологічної цілісності ініціативи ЄС щодо вирощування вуглецю та ширшого режиму кліматичної політики.

4.2. Сільське господарство в рамках політики щодо біорізноманіття

Оскільки сільськогосподарські ландшафти мають велике значення для захисту біорізноманіття, заходи вуглецевого землеробства мають значний потенціал для надання додаткових переваг біорізноманіттю (а також деяких потенційних недоліків або компромісів). Таким чином, політичні ініціативи та впровадження вуглецевого землеробства мають бути ретельно узгоджені з поточними та розвиваючими політичними зобов'язаннями щодо біорізноманіття як на різних рівнях.

Стратегія ЄС з біорізноманіття (BDS) визначає заплановані дії ЄС, щоб перевести природу на шлях відновлення до 2030 року. Вона спрямована на усунення цих прогалів як шляхом посилення впровадження існуючої політики щодо біорізноманіття. У цьому розділі будуть описані ключові збіги між вуглецевим землеробством і цілями політики біорізноманіття, включаючи те, як політика біорізноманіття може підтримувати вуглецеве землеробство та як вуглецеве землеробство може, у свою чергу, допомогти досягти цілей біорізноманіття.

Ініціатива щодо вуглецевого землеробства може допомогти досягненню головної цілі BDS – сприянню захисту та відновленню біорізноманіття сільськогосподарських угідь.

Існує понад 50 типів середовищ існування та 260 охоронюваних видів відповідно до Директиви про середовища існування, які тісно пов'язані з

сільським господарством. Політика захисту біорізноманіття вимагає встановлення необхідних заходів збереження для спеціальних заповідних територій, прийняття відповідних кроків, з метою уникнення погіршення природних середовищ існування та місць існування видів. Деякі з цих середовищ існування містять значну кількість вуглецю, але деградація екосистем через діяльність людини негативно впливає на їх здатність поглинати вуглець. Потім накопичений вуглець вивільняється, що має негативні та небезпечні наслідки для клімату та екосистем. Відновлення цих середовищ існування за допомогою практик вуглецевого землеробства може допомогти досягти сприятливого статусу збереження типів середовищ існування.

Системи агролісівництва мають потенціал для розгортання на великих площах сільськогосподарських угідь (85 типів лісових середовищ) Нові агролісомеліораційні системи мають потенціал для забезпечення поглинання вуглецю та можуть забезпечити більш широкі переваги для екосистемних послуг і біорізноманіття, наприклад більшу різноманітність ландшафтів і зв'язків середовищ [1]. 58 типів середовищ існування вважаються залежними від екстенсивної сільськогосподарської практики або пов'язані з ним. 197 видів або підвидів рослин або тварин (окрім птахів), пов'язаних з агроекосистемами або екосистемами пасовищ. Крім того, 62 із 195 птахів вважаються ключовими видами сільськогосподарських угідь [4]

Відновлення природи включає визначення пріоритету відновлення екосистем з найвищим потенціалом уловлювання вуглецю. Вуглецеве землеробство та відновлення середовища існування повинні комплексно вирішувати проблеми клімату та біорізноманіття, оскільки вони нерозривно пов'язані [1]. Дійсно, схеми вирощування вуглецю можуть досягти безпрограшних рішень для клімату та біорізноманіття шляхом відновлення середовищ існування, оскільки відновлення відновлює природне зберігання вуглецю та довгострокову здатність поглинати деградовані середовища існування.

Прикладами ключових практик вуглецевого землеробства, які можуть досягти переваг як для клімату, так і для біорізноманіття через відновлення екосистеми є:

- *вуглецеве землеробство на торфовищах* включає заходи щодо повторного зволоження та відновлення осушених торфовищ, а також покращення управління ними. Здорові вологі торфовища є одними з найважливіших екосистем з точки зору кліматичних переваг завдяки їх надзвичайно високим можливостям зберігання вуглецю. Таким чином, їх відновлення тісно пов'язане з відновленням значних територій деградованих і багатих вуглецем екосистем до 2030 року. Крім того, повторне зволоження та відновлення торфовищ може сприяти зменшенню ризику небезпеки через збільшення утримання води та зменшення викидів. Цілі відновлення природи також спрямовані на відновлення середовищ існування та видів, які демонструють погіршення тенденцій збереження та статусу [4]. Торфовища є домівкою для кількох унікальних спеціалізованих видів рослин, тварин і мікробів, багато з яких зараз знаходяться під загрозою зникнення. Торфовища історично були осушені для сільського господарства і продовжують стикатися з серйозним тиском, особливо розорюванням. Близько 30% площі торфовищ ЄС деградували та потребують відновлення, а згідно з Європейським червоним списком середовищ існування, 85% типів місць існування торфовищ знаходяться під загрозою [56].

-*вуглецеве землеробство на мінеральних ґрунтах* включає заходи для підвищення органічної речовини ґрунту на мінеральних ґрунтах під орними землями та луками. Збільшення вмісту органічної речовини ґрунту може безпосередньо сприяти відновленню біорізноманіття, оскільки здорові рівні органічної речовини ґрунту необхідні для біохімічних процесів, які є основою життя як під землею, так і над землею. Крім того, високе сільськогосподарське біорізноманіття може, у свою чергу, посилити накопичення органічної речовини ґрунту. Здоров'я ґрунту та біорізноманіття явно тісно пов'язані. Таким чином, вуглецеве сільське господарство може

безпосередньо сприяти відновленню природи та може бути використане для реалізації національних планів відновлення до 2023 року. Крім того, додаткові переваги заходів із вуглецевого землеробства можуть опосередковано сприяти відновленню біорізноманіття сільськогосподарських угідь. Наприклад, покривні культури, покращені сівозміни та особливості ландшафту можуть відновити біорізноманіття орних земель, а також відновити постійні пасовища які можуть бути цінними середовищем існування для видів, що знаходяться під загрозою зникнення. Нарешті, вуглецеве землеробство може зменшити тиск на біорізноманіття: вміст органічної речовини ґрунту покращує доступність поживних речовин, структуру ґрунту та утримання води, що призводить до підвищення продуктивності та, як наслідок, зменшення потреби у добривах. Крім того, вуглецеве землеробство на мінеральному ґрунті може досягти цілей щодо зменшення небезпеки, передбачених законодавством про відновлення природи, шляхом збільшення утримання води та зменшення стоку та зниження ризику ерозії.

-агролісівництво: у більш сухому кліматі ЄС відновлення давно сформованих агролісомеліоративних систем вуглецевого землеробства допоможе досягти мети відновлення деградованих екосистем з високим потенціалом захоплення та зберігання вуглецю. Нові агролісомеліоративні системи можуть створити важливе середовище проживання сільськогосподарських угідь які можуть підтримувати ключові види.

4.3. Ризики вуглецевого землеробства у контексті відновлення природи

Хоча заходи з управління вуглецем можуть принести величезні переваги для біорізноманіття, вони також можуть становити і значні ризики для біорізноманіття, якщо впливи не будуть ретельно розглянуті на етапі планування. Заходи вуглецевого сільського господарства повинні бути розроблені, цілеспрямовані та впроваджені таким чином, щоб забезпечити їх досягнення біорізноманіття:

- *Моніторинг впливу на біорізноманіття*: щоб забезпечити досягнення цілей біорізноманіття разом із видаленням вуглецю та уникненням або скороченням викидів парникових газів, результати щодо біорізноманіття, а також кліматичні наслідки, слід відстежувати та звітувати.

- *Врахування місцевого контексту*: потреби у збереженні біорізноманіття дуже залежать від місцевості (немає універсального варіанту для всіх), тому ініціативи щодо управління вуглецем мають бути пристосовані до місцевих умов. Наприклад, ландшафтні особливості, такі як смуги диких квітів і живоплоти, можуть збільшити поглинання вуглецю незалежно від того, де вони знаходяться, але їхнє просторове розташування може призвести до дуже різних результатів для дрібних безхребетних, які потребують добре зв'язаних середовищ існування. Подібним чином, розгляд розташування відновлених ділянок у ширшому екологічному ландшафті може підвищити цінність їхнього біорізноманіття, якщо вони збільшать зв'язок. У деяких випадках екосистеми, що прилягають до місць відновлення, також можуть визначати результати біорізноманіття. Наприклад, вуглецеве землеробство на пасовищах може досягти кращих результатів щодо біорізноманіття, якщо воно прилягає до існуючих багатих видами луків, які можуть служити джерелом насіння.

- *Виключення заходів пом'якшення, які завдають шкоди біорізноманіттю*: деякі методи, які збільшують вміст вуглецю в екосистемах, можуть призвести до поганих результатів для біорізноманіття. Наприклад, додавання зовнішніх органічних матеріалів, таких як біовугілля та міські відходи, може збільшити вуглець у ґрунті, але може призвести до забруднення середовища проживання. Посадка дерев також може призвести до негативного впливу на біорізноманіття, якщо вони розташовані не в «належному місці», наприклад, на торфовищах або на багатих видами луках. Вибір порід дерев для агролісомеліорації або видів диких квітів і чагарників для ландшафтних особливостей також може мати негативний вплив на біорізноманіття, якщо це немісцеві види, які можуть загрожувати місцевим.

Подібним чином інтенсифікація багатих на види луків для збільшення біомаси/органічної речовини може завдати шкоди як середовищу існування, так і видам, які від нього залежать.

ВИСНОВКИ

В Україні за даними Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів загальні викиди парникових газів у 2019 році склали 332,2 млн. т CO₂-екв., у 2018 році їх кількість збільшилися на 2,5 % або на 8,5 тис. т CO₂-екв. Тоді як на рівні ЄС загальна кількість викидів парникових газів у 2019 році становила 3637 Мт CO₂. Викиди парникових газів від сектору сільського господарства в Україні у 2017 році склали 38,9 Мт CO₂-екв. (у тому числі від використання ріллі 70,0%).

Викиди парникових газів від використання орних земель залежать від втрат органічного вуглецю ґрунтом через більш інтенсивну сільськогосподарську практику та зменшення використання органічних добрив. Втрата органічного вуглецю ґрунту зумовлена негативним балансом між надходженням азоту та вуглецю.

За проведеними оцінками загальний додатковий потенціал зменшення викидів вуглецевого сільського господарства оцінюється на рівні 101-444 Мт CO₂-е на рік. Це еквівалентно приблизно 3-12% загальних річних викидів парникових газів. Це означає, що вуглецеве сільське господарство може компенсувати 26% річних сільськогосподарських викидів. Однак, потребує підтвердження фактичний потенціал вуглецевого сільського господарства.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021a): Technical Guidance Handbook - setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU Report to the European Commission, DG Climate Action, under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby. Online available at <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/10acfd66-a740-11eb-9585-01aa75ed71a1/language-en>
2. European Commission (2021c): List of potential agricultural practices that eco-schemes could support. Online available at https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/food-farming-fisheries/key_policies/documents/factsheet-agri-practices-under-ecoscheme_en.pdf
3. EEA (2021a): Greenhouse gas emissions from agriculture in Europe (webpage). Online available at https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/c93be39f240e41a8bd41063960d31592. Accessed 26.10.2021.
4. EEA (2021b): Annual European Union greenhouse gas inventory 1990–2019 and inventory report 2021: Submission to the UNFCCC Secretariat. European Environmental Agency, Copenhagen. Online available at https://www.eea.europa.eu/ds_resolveuid/f454ae4c825646b2a15497b17a71dbf0
5. Amundson, R. and Biardeau, L. (2018): Opinion: Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 115, no. 46, pp. 11652–11656.
6. Aertsens, J., De Nocker, L., Gobin, A. (2013): Valuing the carbon sequestration potential for European agriculture. Land Use Policy 31, 584–594. Online available at <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.003>
7. Albrecht, A., and Kandji, S. T. (2003): Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 99(1–3) 15–27. Online available at [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\):00138-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03):00138-5)

8. Lugato, E, F. Bampa, P. Panagos et al. (2014): Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Global change biology*, 20 (11), 3557–3567.
9. Roe, S., Streck, C., Beach, R., Busch, J., Chapman, M., Daioglou, V., Deppermann, A., Doelman, J. et al. (2021): Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country. *Glob Change Biol* 27, 6025–6058. Online available at <https://doi.org/10.1111/gcb.15873>
10. Amundson, R. and Biardeau, L. (2018): Opinion: Soil carbon sequestration is an elusive climate mitigation tool. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 115, no. 46, pp. 11652–11656.
11. Vincent-Caboud, L.; Peigné, J.; Casagrande, M.; Silva, E.M. Overview of Organic Cover Crop-Based No-Tillage Technique in Europe: Farmers' Practices and Research Challenges. *Agriculture* 2017, 7, 42.
12. Williams, J.D.; Wuest, S.B.; Long, D.S. Soil and Water Conservation in the Pacific Northwest through No-Tillage and Intensified Crop Rotations. *J. Soil Water Conserv.* 2014, 69, 495–504.
13. Gaujour, E.; Amiaud, B.; Mignolet, C.; Plantureux, S. Factors and Processes Affecting Plant Biodiversity in Permanent Grasslands. A Review. *Agron. Sustain. Dev.* 2012, 32, 133–160.
14. López-Hernández, D.; Hernández-Hernández, R.M.; Hernández-Valencia, I.; Toro, M. Nutritional Stress in Dystrophic Savanna Soils of the Orinoco Basin: Biological Responses to Low Nitrogen and Phosphorus Availabilities. In *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2014; pp. 343–375.
15. Atangana, A.; Khasa, D.; Chang, S.; Degrande, A. Major agroforestry systems of the humid tropics. In *Tropical Agroforestry*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2014; pp. 49–93.
16. Jose, S. Agroforestry for Conserving and Enhancing Biodiversity. *Agrofor. Syst.* 2012, 85, 1–8.

17. Sauer, T.J.; Coblenz, W.K.; Thomas, A.L.; Brye, K.R.; Brauer, D.K.; Skinner, J.V.; Van Brahana, J.; DeFauw, S.L.; Hays, P.D.; Moffitt, D.C. Nutrient Cycling in an Agroforestry Alley Cropping System Receiving Poultry Litter or Nitrogen Fertilizer. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 2015, *101*, 167–179.
18. Swieter, A.; Langhof, M.; Lamerre, J.; Greef, J.M. Long-Term Yields of Oilseed Rape and Winter Wheat in a Short Rotation Alley Cropping Agroforestry System. *Agrofor. Syst.* 2019, *93*, 1853–1864.
19. Управління органічним вуглецем ґрунту в контексті продовольчої безпеки й змін клімату. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/324149543_Upravlinna_organichnim_vuglecem_gruntu_v_konteksti_prodoVOLCOI_bezpeki_j_zmin_klimatu [accessed Sep 21 2023].
20. COWI, Ecologic Institute and IEEP (2021a): Technical Guidance Handbook - setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU Report to the European Commission, DG Climate Action, under Contract. COWI, Kongens Lyngby. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/10acfd66-a740-11eb-9585-01aa75ed71a1/language-en>
21. El-Ramady H.R. Integrated nutrient management and postharvest of crops. *Sustainable Agriculture Reviews*. 2014. V 13. pp. 163–274.
22. Garbach K., Milder J.C., Montenegro M., Karp D.S., DeClerck F.A.J. Biodiversity and ecosystem services in agroecosystems. *Encyclopedia of agriculture and food systemstem*. 2014. V 2. P. 21–40.
23. Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J.-F., Ferrer A., Peigné J. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development*. 2014. V 34. pp. 1–20.
24. Vincent-Caboud L., Peigné J., Casagrande M., Silva E.M. Overview of organic cover crop-based No-Tillage technique in Europe: farmers' practices and research challenges. *Agriculture*. 2017. V 7. P. 42.
25. Climate Change 2021. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on

- Climate Change. 2409 p.
https://report.ipcc.ch/ar6/wg1/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf
26. Микола Шлапак. Технології скорочення викидів парникових газів у секторі сільського господарства. Джерело: <https://www.slideshare.net/MykolaShlapak/ss-245114402>
27. Frank S., E. Schmid P. Havlík et al. The dynamic soil organic carbon mitigation potential of European cropland. *Global Environmental Change*. 2015. V. 35. pp. 269–278.
28. Lugato, E, F. Vampa, P. Panagos et al. (2014): Potential carbon sequestration of European arable soils estimated by modelling a comprehensive set of management practices. *Global change biology*, 20 (11), 3557–3567.
29. Roe S., Streck C., Beach R., Busch J., Chapman M., Daioglou V., Deppermann A., Doelman J. et al. Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country. *Glob Change Biology*. 2021. V 27. pp. 6025–6058.
30. Batjes N. H. Technologically achievable soil organic carbon sequestration in world croplands and grasslands. *Land Degradation and Development*. 2019. V.30 (1). pp. 25–32.
31. 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.
32. 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.
33. ЕЕА: 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
34. 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.

35. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року: рішення Міжвідомчої комісії із забезпечення виконання Рамкової конвенції ООН про зміну клімату (протокол від 16 лютого 2018 р. № 1). URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/Proekt/LEDS_ua_last.pdf.
36. Науково-технологічні засади скорочення викидів парникових газів в агропромисловому виробництві. Доповідь президента НААН академіка НААН Гадзала Я.М. на засіданні Загальних зборів Національної академії аграрних наук України 16 грудня 2021 року. URL: <http://naas.gov.ua/content/publicna-informaciya/ogoloshennya/7358/>.
37. Омельчук О., Садогурська С. Як воєнне вторгнення Росії впливає на довкілля України. URL: <https://zn.ua/ukr/ECOLOGY/priroda-stohne-vid-vijni.html>.
38. Караєва Н. В. Оцінювання впливу впровадження технологій зменшення викидів парникових газів на рівень економічної безпеки держави: моногр. Донецьк ДВНЗ «ДонНТУ». 2012. 320 с.
39. Караєва Н.В., Березницька М.В. 2015. Формування стратегічних напрямів переходу до низьковуглецевого розвитку України на основі експертної оцінки. URL: <https://economy.kpi.ua/uk/node/595> (дата звернення 15.07.2022).
40. ШУЛКІН Д. Низьковуглецевий тренд // СВІТ. – 2022. – URL: <https://svit.kpi.ua/2022/04/13/низьковуглецевий-тренд/> (дата звернення 15.07.2022).
41. Прокопенко К.О., Удова Л.О. 2017. Сільське господарство України: виклики і шляхи розвитку в умовах зміни клімату. URL: http://eip.org.ua/docs/EP_17_1_92_uk.pdf (дата звернення 15.07.2022)
42. Шлапак М. Політики з адаптації сільського господарства до зміни клімату: міжнародний досвід і можливості для України. Німецько-український агрополітичний діалог. 2019. URL: https://mepr.gov.ua/files/docs/Zmina_klimaty/2020/APD%20%202019%20%20Adaptation%20Policies%20in%20Agriculture_UA.pdf.

43. СТРАТЕГІЯ адаптації до зміни клімату сільського, лісового та рибного господарств України до 2030 року. URL: <https://www.uahhg.org.ua/uploads.pdf>
44. Мельнійчук М.М., Уєвич С.Д., Мельник О.В., Зейко В.О. Географічні аспекти трансформації ґрунтів та емісія парникових газів // EESJ. 2021. №2-2 (66). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geografichni-aspekti-transformatsiyi-gruntiv-ta-emisiyaparnikovih-gaziv>.
45. Conchedda Giulia; Tubiello Francesco N. Drainage of organic soils and GHG emissions: validation with country data. Earth System Science Data, 2020, 12.4: 3113-3137. URL: <https://essd.copernicus.org/articles/12/3113/2020/>
46. Болотні екосистеми регіону Східних Карпат в межах України / Ковальчук А.А., ФельбабаКлушина Л.М., Ковальчук Н.Є. та ін. // Під загальною редакцією Ковальчук А.А. – Ужгород: Ліра, 2006. – 228 с.
47. Екологія водно-болотних угідь і торфовищ (збірник наукових статей) // Головний редактор В.В. Коніщук. – Київ: ДІА, 2013. – 300 с.
48. Growing crops on organic soils increases greenhouse gas emissions, say scientists [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedaily.com/releases/2015/12/151217114947.htm#:~:text=Sources%20of%20gre>
49. Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cifor.org/knowledge/publication/6060/#:~:text=Drained%20organic%20soils%20are%20a,characteristic%20of%20undrained%20organic%20soils>
50. Тимощук О. А., Тимощук О. Б., Матвійчук Б. В. 2022. Викиди парникових газів від сільськогосподарської діяльності та їх динаміка протягом 1990-2020 років. Український журнал природничих наук. Випуск 1. С. 174-186
51. Batjes N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European journal of soil science. 2014. Т. 65, № 1. С. 10–21.

52. Blanco-Canqui H., Lal R., Owens L. B. Soil tillage and crop sequence impacts on carbon sequestration and soil aggregation in a Mollisol. *Soil science society of america journal*. 2015. T. 79, № 3. C. 811–818.
53. Carbon farming. Climate Action. URL: https://ec.europa.eu/clima/eu-action/forests-and-agriculture/sustainablecarbon-cycles/carbon-farming_en.
54. Romanenko O. Influence of tillage systems on greenhouse gas emissions in soil. *Agrology*. 2019. T. 2, № 1. C. 47–54.
55. Guo L. B., Gifford R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global change biology*. 2002. T. 8, № 4. C. 345–360.
56. Effects of tillage practices on greenhouse gas emissions in dryland agriculture: a review / Guo, L та ін. *Journal of arid land*. 2018. T. 10, № 6. C. 775–788.
57. Kravchenko Y. Quality and dynamics of soil organic matter in a typical Chernozem of Ukraine under different long-term tillage systems. *Canadian journal of soil science*. 2012. T. 92, № 3. C. 429–438.
58. Kuzmenko, Y. Greenhouse gases emissions from ukrainian soils under different tillage systems. *Visnyk of dnipro petrovsk university. biology, ecology*. 2018. T. 26, № 1. C. 47–54.
59. Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*. 2004. T. 304, № 5677. C. 1623–1627.
60. Martynov, V, Tokhtar, V, Yermolenko, N. Greenhouse gas emissions from ukrainian soils under different tillage systems. *Journal of water and land development*. 2018. T. 37. C. 133–141.
61. Roe, S., Streck, C., Beach, R., Busch, J., Chapman, M., Daioglou, V., Deppermann, A., Doelman, J. et al. (2021): Land-based measures to mitigate climate change: Potential and feasibility by country. *Glob Change Biol* 27, 6025–6058. Online available at <https://doi.org/10.1111/gcb.15873>