

ПОЛТАВСЬКА І ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет агротехнологій та екології

Кафедра екології, збалансованого природокористування та захисту

довкілля

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістр

**на тему: «ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ДИНАМІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ДЕПОНУВАННЯ ОРГАНІЧНОГО КАРБОНУ
ГРУНТУ У НАСАДЖЕННЯХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР»**

Виконав: здобувач вищої освіти

СВО Магістр за

ОПП Агроекологія

спеціальності 101 - Екологія

Колісник Юрій Іванович

Керівник: Писаренко Павло Вікторович,

доктор сільськогосподарських наук,

професор

Рецензент: Піщаленко Марина

Анатоліївна, кандидат

сільськогосподарських наук, доцент.

Полтава – 2021 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет агротехнологій та екології

Кафедра екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля

Освітньо-професійна програма Агроекологія

Спеціальність 101 Екологія

Ступінь вищої освіти Магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри екології,
збалансованого природокористування
та захисту довкілля,
д.с.-г.н., проф. Писаренко П.В.
« ____ » _____ 20 ____ року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ
ОСВІТИ

Колісника Юрія Івановича

1. Тема роботи

Оцінка екологічної стійкості динамічних процесів депонування органічного карбону ґрунту у насадженнях енергетичних культур

керівник роботи:

доктор сільськогосподарських наук, професор Писаренко П.В.

затверджено наказом вищого навчального закладу

від « ____ » _____ 20 ____ року № ____

2. Строк подання здобувачем роботи

« ____ » _____ 20 ____ р.

3. Вихідні дані до роботи

Дані щодо проведення досліджень бази «Колекції енергетичних культур» Полтавського державного аграрного університету МОН (Полтавської ДАУ). період 2018-2020 рр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз еколого-кліматичних особливостей за яких функціонують багаторічні системи біоенергетичних культур. Оцінка ролі культури, глибини шару ґрунту, року та віку вегетації у процесі депонування карбону в ґрунті. Визначення закономірностей варіювання депонування вуглецю в насадженнях енергетичних культур. Встановлення закономірностей формування продуктивності насаджень енергетичних культур. Оцінка стійкості динаміки систем біоенергетичних культур. Проведення біоенергетичної оцінки вирощування енергетичних культур , очікувані показники реалізації запропонованих заходів, охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна ефективність			
Охорона праці			

7. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1.	Вивчення методик дослідження	
2.	Вивчення об'єкту дослідження	
3.	Дослідження депонувальних процесів діоксиду карбону ґрунтовим покривом	
4.	Проведення лабораторних досліджень.	
5.	Оцінка інтенсивності депонування органічного вуглецю в залежності від урожайності енергетичних культур	
6.	Стійкість динамічних процесів депонування вуглецю в насадженнях енергетичних культур	
7.	Проведення експерименту	
8.	Характеристика умов проведення дослідження	
9.	Охорона праці	
10.	Біоенергетична оцінка вирощування енергетичних культур	
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Колісник Ю.І.

Керівник роботи

_____ (підпис)

Писаренко П.В.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ	5
РОЗДІЛ I. ДЕПОНУВАЛЬНІ ПРОЦЕСИ ДІОКСИДУ КАРБОНУ ГРУНТОВИМ ПОКРИВОМ (огляд літератури).	9
1.1. Роль ґрунтів у накопиченні ґрунтового-органічного карбону	9
1.2. Механізм трансформації органічного карбону в ґрунті	16
РОЗДІЛ II. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	22
2.1. Ґрунтового-кліматичні умови місця проведення досліджень	22
2.1.1. Ґрунтові умови регіону проведення досліджень	22
2.1.2 Кліматичні умови	25
2.2. Методика польових та лабораторних досліджень	28
РОЗДІЛ 3. ІНТЕНСИВНІСТЬ ДЕПОНУВАННЯ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УРОЖАЙНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР	32
3.1. Депонування карбону під час вирощування енергетичних культур в залежності від років вирощування	32
3.2. Порівняльний аналіз внеску різних факторів у варіювання депонування карбону в ґрунті	34
РОЗДІЛ 4 АГРОЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРИ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР	43
4.1. Описові статистики депонування карбону	43
4.2. Порівняльний аналіз внеску різних факторів у варіювання депонування карбону в ґрунті	48
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА	51
РОЗДІЛ 6. РОЗДІЛ. ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР	61
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	69

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. Використання біоенергетичних культур таких як Міскантус гігантський (*Miscanthus × giganteus*), та Просо прутіподібне (*Panicum. Virgatum L*) є привабливою альтернативою відновлюваним джерелам традиційного викопного палива та здатністю компенсувати зростаючий попит на енергоносії, одночасно пом'якшуючи енергетичну кризу, кліматичні зміни та зменшити викиди парникових газів. Вказані культури також оцінюються як екологічно чисте рішення для вирощування їх на забруднених, маргінальних та малопродуктивних сільськогосподарських ґрунтах.

Серед впливів біоенергетичних культур на навколишнє середовище особливий інтерес представляють зміни в запасів органічного вуглецю (C_{org}), оскільки вони призводять або до емісії вуглекислого газу (CO_2), або до його депонування. У зв'язку з цим є актуальним дослідження потенціалу депонування органічного вуглецю в ґрунті енергетичними культурами міскантусу та проса прутіподібного, а також їх впливу на відновлення функціональності ґрунту, більшість з яких зосереджені на довгостроковій основі вирощування рослини. .

Енергетичні культури другого покоління мають високу врожайність біомаси вважаються хорошим альтернативним джерелом енергії, оскільки вони мають високу здатність зменшувати викиди ПГ та пом'якшувати зміни клімату [1 ,2 ,3].

Стабільність та оборотність Органічного вуглецю ґрунту (ОВГ) є дуже важливою, але недостатньо зрозумілою частиною кругообігу вуглецю (C). .

Мета і завдання дослідження. *Мета роботи* – встановити закономірності функціонування багаторічних систем біоенергетичних культур Міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus*) та Проса прутіподібного (*Panicum virgatum L*) як факторів депонування вуглецю в ґрунті.

Для реалізації зазначеної мети передбачається виконання таких **завдань:**

- встановити еколого-кліматичні особливості за яких функціонують багаторічні системи біоенергетичних культур;
- оцінити роль культури, глибини шару ґрунту, року та віку вегетації у процесі депонування карбону в ґрунті;
- визначити закономірності варіювання депонування вуглецю в насадженнях енергетичних культур;
- оцінити роль кліматичних чинників у варіюванні процесу депонування вуглецю в ґрунті;
- встановити закономірності формування продуктивності насаджень енергетичних культур;
- оцінити стійкість динаміки систем біоенергетичних культур.

Об'єкт дослідження: процес депонування органічного вуглецю ґрунтами при вирощування енергетичних культур Міскантусу гігантського (*Miscanthus × giganteus*) та Проса прутоподібного (*Panicum virgatum* L) різного року вегетації у різноглибинних шарах ґрунту як фактору депонування вуглецю в ґрунті.

Предмет вивчення: агроекологічні закономірності формування продуктивності енергетичних культур, а також емісії оксиду вуглецю та депонування вуглецю в ґрунті.

Методи дослідження. В основу методології дослідження покладено такі наукові методи: теоретичного аналізу, стаціонарного польового досліді, дисперсійний аналіз кореляційно-регресійного аналізу; математично-статистичний та математичного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів.

У результаті узагальнення теоретичних і експериментальних даних сформовано науково-практичні засади встановлені кількісні характеристики депонування органічного вуглецю у залежності від агроекологічних режимів у насадженнях біоенергетичних культур міскантусу та свічграсу;

- оцінена взаємодія агроекологічних факторів у впливі на депонування вуглецю в ґрунті;
- обґрунтоване значення насаджень енергетичних культур як фактору депонування вуглецю в ґрунті.

Удосконалено:

- процедуру в порівняльного аналізу внеску різних факторів у варіювання депонування вуглецю в ґрунті;

Набули подальшого розвитку:

- теорія стійкості екологічних систем.

Практичне значення одержаних результатів. Результати досліджень формують теоретичну основу для розрахунку і обліку балансу парникових газів Національним центром обліку викидів парникових газів в Україні, під час проведення інвентаризації викидів парникових газів пов'язаних зі зміною землекористування. Також рекомендовано під час висвітлення кліматичних питань під час державного планування та при виконанні стратегічної екологічної оцінки відповідно до Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку». Одержані результати переконливо вказують, що насадження енергетичних культур на маргінальних землях виконують екосистемні сервіси, які зводяться не тільки для вирішення енергетичних проблем, але є важливим інструментом депонування оксиду вуглецю в ґрунті. Створення енергетичних культур є одним з шляхів вирішення проблеми зростання концентрації оксиду вуглецю в атмосфері, який є найбільш придатним в промислових регіонах України з високою площею маргінальних земель.

Особистий внесок здобувача. Магістерська дипломна робота є самостійним дослідженням. Здобувачем особисто заплановано програму досліджень, визначено мету та завдання, проаналізовано літературні джерела за обраною тематикою, згідно з науковими методиками та рекомендаціями проведено польові та лабораторні дослідження, узагальнено експериментальний матеріал, здійснено математично-статистичний аналіз

отриманих даних, що дало можливість сформулювати наукові положення та висновки.

Апробація результатів роботи. Результати досліджень за темою магістерської дипломної роботи викладено у 2 тезах: Колісник Ю. І., Галицька М.А., Кулик М.І.,. Інтенсивність депонування карбону при вирощуванні енергетичних культур в умовах Лісостепу України// Збірник матеріалів II Міжнародна науково-практичної конференції «Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку», 26 червня 2020 року м. Полтава, Україна. . – С. 127-131.; *Колісник Ю.І., Галицька М.А.*. Вплив фотосинтезу та фотосинтетичної продуктивності на інтенсивність асиміляції вуглецю при вирощуванні міскантусу (*Miscanthus x giganteus*) Матеріали V міжнародної науково-практичної інтернет - конференції "Ефективне функціонування екологічно-стабільних територій у контексті стратегії стійкого розвитку: агроекологічний, соціальний та економічний аспекти"– 18 грудня 2021 року, Полтава, Україна. . – С. 27 - 31.

Публікації. Перелік опублікованих робіт наведений у додатку 1.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота виконана на 77 сторінках машинописного тексту і складається із загальної характеристики, 6 розділів, висновків і пропозицій виробництву. Список використаної літератури налічує 75 найменувань.

РОЗДІЛ І.

ДЕПОНУВАЛЬНІ ПРОЦЕСИ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ ГРУНТОВИМ ПОКРИВОМ (огляд літератури).

1.1. Роль ґрунтів у накопиченні ґрунтово-органічного вуглецю.

Карбон - є основним будівельним матеріалом рослинного світу та головним складовим елементом органічної речовини ґрунту (ОРГ). Двоокис карбону (CO_2) є газоподібною формою карбону і є парниковим газом. З початку промислової революції рівень CO_2 піднімався приблизно на 1,5 відсотка на рік. Продовження зростання атмосфери концентрації CO_2 може призвести до глобального потепління. Порушення короткочасного циклу карбону, що спричиняють зміни концентрації цих двох газів в атмосфері, спричиняють потенційні зміни клімату, оскільки обидва вони є парниковими газами. Асиміляція CO_2 рослинами в органічному карбоні ґрунту є одним із можливих механізмів зменшення зростання концентрації CO_2 в атмосфері. Довгострокове зниження рівня атмосферного CO_2 вимагає зменшення споживання викопного палива та розробки альтернативних джерел енергії.

Завдяки фотосинтезу рослина витягує карбон з повітря, утворюючи сполуки карбону. Те, що рослині не потрібно для росту, виділяється через коріння для живлення ґрунтових організмів, завдяки чому карбон гуміфікується або стає стабільним. Карбон є основною складовою органічної речовини ґрунту і допомагає забезпечити ґрунті його водоутримуючу здатність, структуру та родючість. Деякі басейни карбону, що містяться в ґрунтових агрегатах, настільки стабільні, що можуть тривати тисячі років. Це на відміну від “активного” ґрунтового карбону, який знаходиться у верхньому шарі ґрунту і знаходиться в постійному потоці між мікробними хазяїнами та атмосферою.

Наскільки основним є карбон у ґрунті, багато вчених лише дізнаються про нього, зокрема про те, як максимально використати його здатність до секвестрації CO_2 . Одною перспективною стратегією, є посилення

мікробіології ґрунту шляхом додавання корисних мікробів, щоб стимулювати цикли ґрунту там, де вони були перервані використанням інсектицидів, гербіцидів або добрив. Що стосується агролісомеліорації, то програми з більшим видовим різноманіттям мають змогу максимізувати зберігання карбону, ніж монокультури. Багато дослідників прагнуть отримати біовугілля, який виробляється при нагріванні рослинної речовини, гною або іншого органічного матеріалу в середовищі з нульовим або низьким вмістом кисню, - для його здатності перетворювати проблемні зони на продуктивні ділянки при будівництві карбону в ґрунті.

Органічний карбон ґрунту є вимірюваним компонентом органічної речовини ґрунту. Органічна речовина складає лише 2–10% більшої маси ґрунту і відіграє важливу роль у фізичній, хімічній та біологічній функції сільськогосподарських ґрунтів.

Органічні речовини сприяють утриманню та обороту поживних речовин, структурі ґрунту, збереженню та забезпеченню вологи, деградації забруднюючих речовин, поглинанню карбону та стійкості ґрунту.

З 2700 Гт С, що зберігаються у ґрунтах у всьому світі, 1550 ГтЦ є органічним, а 950 ГтС - неорганічним карбоном, що приблизно втричі більше, ніж поточний атмосферний С, і в 240 разів вище порівняно з поточним щорічним викопним паливом. Баланс ґрунтового карбону утримується в торф'ї та на заболочених землях (150 ГтС), а також у смітті рослин на поверхні ґрунту (50 ГтС). Це порівняно з 780 ГтЦ в атмосфері та 600 ГтЦ у всіх живих організмах. басейн вміщує 38 200 ГтС [4].5].

Кожна тона органічного карбону є еквівалентом приблизно 3,67 тонни атмосферного вуглекислого газу.

Зменшення викидів є надзвичайно важливим, але поглинання карбону в ґрунті також має бути частиною цієї картини. головними пріоритетами є відновлення деградованих та еродованих земель, а також уникнення вирубки лісів та вирощування торфовищ, які є основним резервуаром карбону і легко розкладаються при дренажі та обробітку.

Втрати карбону в ґрунті протягом першої половини 20 століття частково були відновлені у другій половині в міру вдосконалення практики збереження ґрунту та інтенсифікації систем посівів. Правильна практика відтворення родючості та вдосконалення гібридів та сортів також зіграли свою роль у підвищенні рівня органічного карбону в ґрунті. Більш високі врожаї та більша інтенсивність посівів збільшують кількість біомаси, що повертається в ґрунт, забезпечуючи більший внесок, який може стати органічним карбоном ґрунту. Права частина Рисунка 3 показує майбутні прогнози рівня органічного карбону в ґрунтах, припускаючи практику обробітку ґрунту та обробітку в 1990 році.

ґрунти, що знаходяться в господарстві без обробітку ґрунту та посиленних систем посівів, можуть збільшити карбоновий ґрунт із швидкістю 0,1 відсотка на рік. Збільшення рівня забороненого обробітку ґрунту та посилення систем обробітку збиратиме більше карбону. У всьому світі потенціал використання ґрунту як поглиначка карбону існує, але залишається короткостроковим рішенням. Через деякий проміжок часу, ймовірно від 30 до 50 років, буде досягнутий новий рівень рівноваги органічного карбону в ґрунті, де важко досягти подальших прибутків у зберіганні карбону. Довгострокове рішення для стабілізації рівня атмосферного CO₂ передбачає зменшення нашої залежності від викопного палива для отримання енергії.

Карбон і карбоновий цикл Карбон (C) є одним з найпоширеніших елементів у Всесвіті і зустрічається практично скрізь на землі: у повітрі, океанах, ґрунті та гірських породах. Карбон є частиною геологічної історії гірських порід, і особливо древніх родовищ, що утворювали вугілля, нафту та інші джерела енергії, які ми використовуємо сьогодні. Карбон також є важливим будівельним елементом життя та складовою частиною всіх рослин та тварин на планеті. Він має унікальні властивості склеювання, що дозволяють йому поєднуватися з багатьма іншими елементами. Ці властивості дозволяють утворювати молекули, корисні та необхідні для підтримки життя. Роль карбону в живих системах настільки значна, що йому

присвячений цілий розділ досліджень: органічна хімія. Карбон, який не пов'язаний в гірських породах або глибоко в океанах, постійно змінюється і рухається. Цей процес називається кругообігом карбону. Грунт містить найбільшу частину активного карбону на землі. Рослини беруть карбон з повітря і перетворюють його в рослинні тканини, частина яких повертається в грунт у вигляді рослинних залишків. Роль сільського господарства у кругообігу карбону Карбон має вирішальне значення для функціонування ґрунту та продуктивності, а також головним компонентом та сприяє здоровим ґрунтовим умовам. Управління ґрунтами відіграє вирішальну роль у тому, чи залишається карбон у ґрунті чи потрапляє в атмосферу. Сільськогосподарські практики можуть впливати як на кількість, так і на склад органічного карбону в ґрунті, а отже, також на фізичний, біологічний та хімічний стан ґрунту, поєднання речей, що визначають здоров'я ґрунту. Тому фермерські практики, що впливають на карбон, впливають на продуктивність та стійкість сільського господарства (ґрунт) з здатність боротися з погодними екстремумами) і сам цикл карбону. Важливість органічного карбону в ґрунті Хоча сільськогосподарський сектор здатний впливати на кругообіг карбону у великих масштабах, часто завдяки виділенню карбону, фермери зацікавлені в збереженні та збільшенні органічного карбону в ґрунті для окремих полів, оскільки ґрунт та врожайність, як правило, поліпшуються, коли ґрунт органічний

Карбон - основний будівельний матеріал усього життя. Карбон присутній в атмосфері, у рослинному і тваринному світі, в неживій органічній речовині, у викопному паливі, в гірських породах і розчинений в океанах. Переміщення молекул карбону з однієї форми в іншу відоме як кругообіг карбону. Рослини засвоюють карбон з атмосфери завдяки фотосинтезу. Використовуючи вуглекислий газ (CO_2) з атмосфери та енергію сонячного світла, рослини перетворюють CO_2 в органічний карбон, коли виробляють стебла, листя та коріння. Цикл життя і загибелі рослин

призводить до накопичення розкладається рослинної тканини, як надземної, так і підземної (коріння рослин), і утворюється значна кількість органічного карбону в ґрунті

Зміни в стабільному ОРГ, як правило, відбуваються дуже повільно (протягом десятиліть), і часто важко виміряти незначні зміни на відносно великому тлі ґрунтового карбону. Зміни в ОРГ значною мірою визначаються тим, скільки біомаси вирощується та утримується над і під землею.

Близько 45% органічної речовини - це карбон, а ґрунти легшої фактури зберігають менше 30% цього. Наприклад, ґрунти вимірювали від 20 до 16 тС/га. Типова австралійська система виробництва зерна, що дає 2 т / га пшениці, ймовірно, щорічно утримуватиме в ґрунті 0,1–0,5 т органічної речовини з гектара. Це дорівнює зміні ОРГ у багатьох випадках менше ніж 1% від загального запасу.

Потрібна більша зміна загального запасу органічного карбону, яка може зайняти кілька років або довше, перш ніж можна буде визначити значну зміну з будь-яким ступенем впевненості. Враховуючи щорічні надходження органічних залишків, швидше за все, становитимуть менше 0,2 тС/га в типовій системі посіву зерна, час, необхідний для виявлення значних змін ОРГ, як правило, перевищує 10 років.

За допомогою моніторингу ОРГ протягом часу можна оцінити зміни, спричинені управлінням. Однак свіжі залишки можуть коливатися в широких межах залежно від урожаю або пасовищ, що вирощуються щороку.

Точне вимірювання змін ОРГ вимагає:

- відбір проб ґрунту стратегія , яка захоплює природні варіації ґрунтового карбону
- міра концентрації ОРГ
- оцінка об'ємної щільності ґрунту для коригування зміни маси ґрунту в заданих інтервалах глибин.

Зміни ОРГ найімовірніше спостерігатимуться у верхніх 0–10 см ґрунту.

Випробування ґрунту на органічний карбон зазвичай повідомляють про відсоток загальної кількості ОРГ. За допомогою міри насипної щільності можна розрахувати кількість карбону на гектар до заданої глибини ґрунту, як показано раніше .

Існує значне занепокоєння щорічним глобальним приростом CO_2 в атмосфері близько 1,5 проміле. На сьогоднішній день існує думка, що необхідно виводити або з атмосфери, або запобігати виділенню трьох ЗГт/рік карбону, щоб уникнути тепличного потепління землі. Запропоновані рішення приділяють мало або зовсім не звертають уваги на роль органічної речовини ґрунту у зменшенні атмосферного накопичення CO_2 . Світовий запас вуглецевої речовини в ґрунті становить близько 3000 тонн, тож у найближчому майбутньому для виведення трьох вуглецевих вуглеводнів з атмосфери потрібно буде збільшити до 0,1 відсотка до поточного обсягу на рік. Якби це вдалося досягти, на додаток до сприяння зменшенню можливого глобального парникового ефекту, це може призвести до масового поліпшення ґрунту, особливо якщо підвищена органічна речовина ґрунту буде зосереджена на землях, які потребують поліпшення. Побічно карбон переноситься з викопного палива в органічну речовину ґрунту [24].

Оскільки органічна речовина ґрунту містить близько 60% карбону, це є визначальним фактором впливу ґрунту на глобальний карбоновий цикл. Маючи приблизно 1 500 мільярдів тонн карбону, що міститься в органічній речовині у ґрунті у всьому світі, ґрунти є другим за величиною активним запасом карбону після Світового океану (40 000 мільярдів тонн). У ґрунті зберігається більше карбону, ніж в атмосфері (760 мільярдів тонн) та у рослинності (560 мільярдів тонн) разом узятих. Однак, як і при інших кругообігах карбону, відбувається постійний перенос карбону між ґрунтом та атмосферою і навпаки через рослини. Насправді викиди CO_2 (вуглекислого газу) з ґрунтів в атмосферу приблизно вдсятеро перевищують викиди викопного палива, але в природних умовах це врівноважується подібним потоком в іншому напрямку. Рослини поглинають CO_2 з атмосфери в процесі

фотосинтезу і використовують його для побудови своїх коренів, стебел або листя. Карбон переважно переноситься в ґрунт через викид органічних сполук у ґрунт корінням рослин або через гниття рослинного матеріалу або ґрунтових організмів, коли вони гинуть. Мікробний розпад органічної речовини, нарешті, вивільняє поживні речовини, які рослини використовують для росту. Під час цього процесу розкладання частина карбону виділяється у вигляді вуглекислого газу через дихання ґрунту, тоді як інший карбон перетворюється на стабільні органічні сполуки, які замикаються в землі. Як швидко це відбувається, залежить від факторів, включаючи температуру та кількість опадів, баланс ґрунт-вода та склад органічного матеріалу.

Різні джерела органічної речовини розкладаються з різною швидкістю. Якщо додавання нового матеріалу менше швидкості розкладання, органічна речовина ґрунту зменшується, і навпаки, якщо швидкість додавання більша за швидкість розкладання, органічна речовина ґрунту збільшиться. Однак загалом процес що призводить до втрат карбону з ґрунту відбувається швидше і легше, ніж процес відновлення запасів карбону. Чи накопичуватимуть або втрачають карбон ґрунти - і, отже, діючи як поглиначі карбону чи джерела карбону - залежить від ряду факторів, особливо від використання землі та від кліматичних умов. На додаток до CO_2 , ґрунти також відіграють важливу роль у балансі інших парникових газів. Викиди оксиду азоту (N_2O), парниковий газ майже у 300 разів потужніший, ніж CO_2 , пов'язані з розкладанням органічних речовин та використанням азотних добрив. Метан (CH_4) - парниковий газ, приблизно у 20 разів сильніший за CO_2 , і виробляється в ґрунтах в анаеробних умовах [5].

Поглинання органічного карбону в ґрунті - це процес, за допомогою якого карбон виводиться з атмосфери через рослини або органічні залишки і зберігається в ґрунті. Маючи справу з CO_2 , секвестрація ОРГ включає три етапи:

- 1) видалення CO_2 з атмосфери за допомогою фотосинтезу рослин;
- 2) перенесення карбону від CO_2 до рослинної біомаси; і
- 3) перенесення карбону з рослинної біомаси в ґрунт, де він зберігається у формі ОРГ у найбільш нестабільному басейні.

Цей басейн характеризується найвищим коефіцієнтом обороту (днів - кілька років), охоплює нещодавно включені рослинні залишки і легко розкладається ґрунтовою фауною, як правило, спричиняючи викиди CO_2 в атмосферу. Отже, імперативне планування заходів з секвестрації ОРГ вимагає виходу за межі захоплення атмосферного CO_2 і вимагає пошуку способів утримувати С у повільному пулі ОРГ. Навпаки, дослідження показують, що стабільний басейн має незначний потенціал для секвестрації карбону завдяки своїй стійкості до змін і, отже, безвідповідальності до управління [14].

1.2. Механізм трансформації карбону в ґрунті

Останні 20 років світова наукова спільнота приділяє значну увагу питанню кругообігу вуглецю в природі.

Актуальність вказаної проблематики відображається в різних аспектах. Зокрема, вуглецеве питання є предметом дискусії екологів – у контексті зменшення емісії парникових газів (ПГ); агрономів – як основний складовий елемент органічної речовини ґрунту (ОРГ), а також політиків – як предмет отримання додаткового джерела доходів у бюджет завдяки отриманню коштів від торгівлі квотами на викиди парникових газів згідно з Кіотським протоколом.

Проблема трансформації вуглецю у глобальному контексті має комплексний характер. Оскільки, з хімічної зору, Вуглець є базовим елементом, з якого утворюється вся первинна органічна продукція (GPP). З біогеохімічним кругообігом карбону пов'язані важливі природні процеси, що мають планетарне значення та спричиняють виділення та поглинання вуглекислого газу (CO_2) – це фотосинтетична асиміляція вуглецю

(фотосинтез), мінералізація ОРГ мікроорганізмами (розкладання ОРГ) та формування ґрунтової ОРГ (гуміфікація).

Стійкість родючості ґрунту сильно залежить від його вуглецевого балансу, тобто динамічної рівноваги між процесами гуміфікації та мінералізації органічної речовини. Інтенсивність та якість перебігу яких залежать від багатьох факторів: рослинності, активності мікроорганізмів, гідротермічних умов, а також фізико-хімічних та хімічних властивостей ґрунтів.

Регулювання запасів органічних речовин ґрунту значною мірою залежить від виду вирощуваних культур та ступеня загортання їх решток у ґрунт.

Загальноприйнята схема фізико-хімічних перетворень сполук вуглецю в ґрунті показана на рис.1 [6]

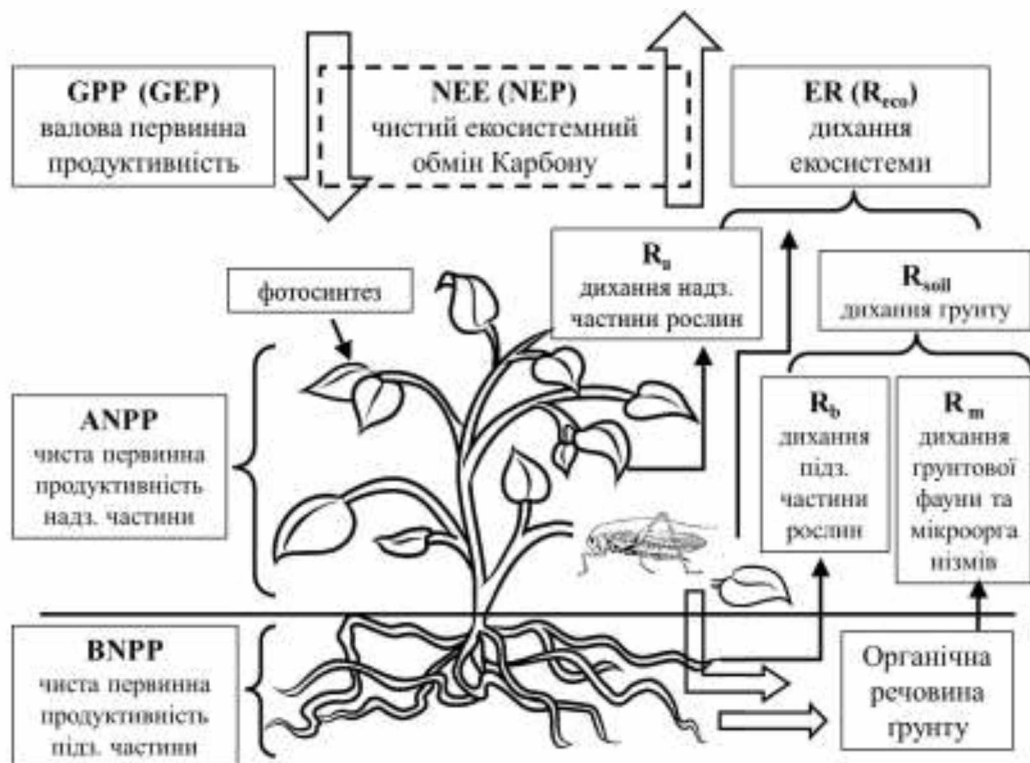


Рис. 1. Схема фізико-хімічних переходів вуглецю між різними речовинами ґрунтів [7]

Частина вуглецю в процесі трансформації мінералізується і залишає ґрунт у складі парникових газів (CO_2 та CH_4). Утворення CO_2 в ґрунті відбувається за рахунок процесів дихання,

В цілому, за величиною, потік CO₂ з ґрунту в атмосферу є другим після потоку Карбону у фотосинтетичному процесі й залежить від швидкості мінералізації органічної речовини(гетеротрофного компоненту), інтенсивності дихання кореневої системи і мікоризи рослин(автотрофного компоненту)

Позитивний вплив сільськогосподарських культур на родючість ґрунту визначається не тільки кількістю, а й якістю рослинних решток.

За інтенсивного використання ґрунтів у сільському господарстві динамічна рівновага (гуміфікація ↔ мінералізація) зміщується в сторону підсилення мінералізації, внаслідок чого відбувається зниження вмісту гумусу. Основною причиною такого явища є скорочення надходження рослинних решток у ґрунт, зміна їх якісного складу, підсилення мікробіологічної активності ґрунту та перемішування його поверхневого шару з менш гумусованим нижнім. Крім цього, у разі нестачі «свіжої» органічної речовини в ґрунті гетеротрофна мікрофлора для життєдіяльності починає використовувати гумус як джерело енергії, що обумовлює дегуміфікацію ґрунту [8].

На формування балансу вуглецю в агроєкосистемах впливає розбалансування процесів депонування та емісії CO₂ Схема трансформації . та складових для підтримання вуглецевої рівноваги наведена на рис. 2.

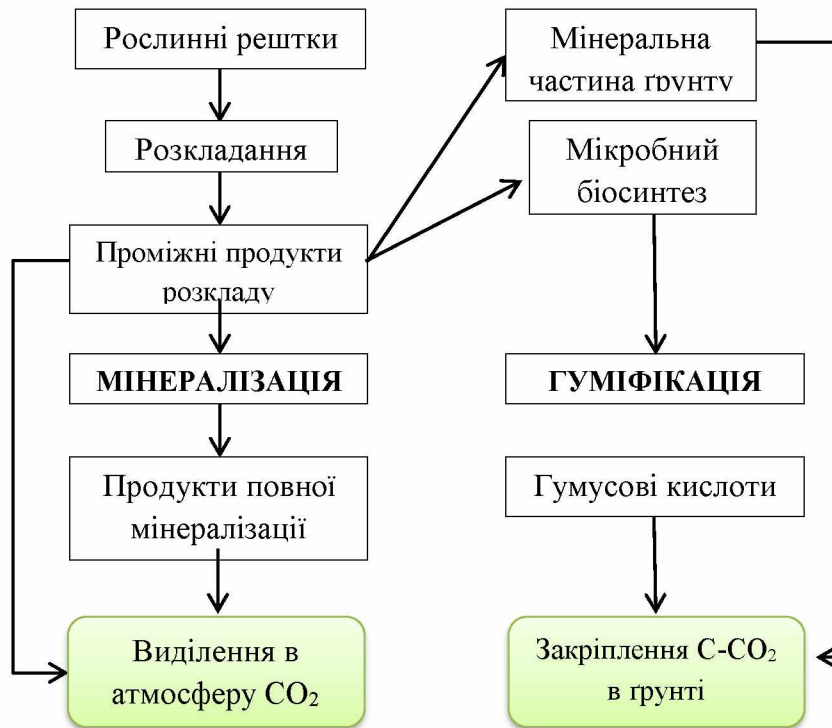


Рис 2. Взаємозв'язок емісійно-депонувальних процесів вуглецю

(Розробка автора)

Багаторічний дефіцит органічної речовини в ґрунті і дисбаланс поживних речовин призводять до швидкої мінералізації найціннішої частини-гумусу, який, крім загальновідомого багатопланового позитивного впливу на агрономічно-цінні показники

Основну частину природної емісії парникових газів становить вивільнення CO₂ з поверхні ґрунтів. Сучасне потепління клімату спричиняє інтенсифікацію потоку неорганічного вуглецю з поверхні ґрунтів за рахунок біохімічної деградації органічної речовини.

При гуміфікації (утворення гумусу) і мінералізації (розкладі) органічної речовини відбувається її перетворення на гумус. Крім того, утворюється значна кількість побічних компонентів, деякі з них містять нестабільні сполуки, що легко розкладаються ґрунтовими мікроорганізмами, і вуглець у вигляді вуглекислого газу повертається до атмосфери. За умов гуміфікації органічний вуглець перетворюється у стабільні сполуки (гумус) [9].

Покращення практики ведення сільського господарства може привести до зменшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері, викликаного

господарською діяльністю людини. Основою для цього є збільшення рослинної маси. У майбутньому технології вирощування сільськогосподарських культур будуть грати важливу роль, оскільки вуглекислий газ в атмосфері таким чином можна перетворити у рослинну біомасу, яка в основному складається з вуглецю.

Про величинах коефіцієнтів гуміфікації і мінералізації існують дуже суперечливі думки. Наводяться дані, згідно з якими перші, або ступінь гуміфікації в різних типах ґрунтів коливаються в широких межах: від дуже низьких до дуже високих. Коефіцієнт розкладання рослинних залишків, що дорівнює відношенню маси підстилки до маси осаду, за даними різних авторів, коливається від 4.6 до Степової зони до 0.8 в Лісостепу і до 0.4 в зоні чорнозему типового [10].

Для її вирішення було необхідно знайти максимально можливі коефіцієнти гуміфікації органічних речовин при різних умовах трансформації рослинних залишків. Для цього необхідно знати надходження органічних речовин за рік, загальні запаси органічної речовини і запаси груп гумінових речовин як в профілі ґрунту, так і за генетичними горизонтів, розміри річної емісії CO_2 в атмосферу, вік органічних речовин [11].

Однією з найважливіших функцій ґрунту є продукування діоксиду вуглецю, яка не обхідно для забезпечення життєдіяльності рослин. Перші спроби знаходження усереднених величин емісії CO_2 в різних кліматичних зонах при розкладанні в ґрунтах рослинних залишків були зроблені, мабуть, Бхазилевич і Родіним [7]. Глобальне виділення CO_2 за рахунок дихання ґрунтів становить, за даними різних авторів, близько 60 Гт С в рік [12]. У ряді робіт була також оцінена емісія CO_2 в атмосферу з ґрунтів України, яка для всіх ґрунтів сумарно становить 3.12 Гт С в рік [8]. Кудеяров з співавт. [8,9] оцінили також середні величини потоку CO_2 з головних типів ґрунтів України в атмосферу за період вегетації і, за їхніми даними, середня швидкість продукування CO_2 коливається в досить вузьких межах - від 1.54 до 2.44 г / м² на добу.

Тому загальна емісія CO₂ з ґрунту в атмосферу в більшій мірі залежить від тривалості періоду біологічної активності і в меншій - від запасів в ній органічної речовини та інших властивостей ґрунтів.

Літературні дані про запаси органічної речовини в ґрунтах, про масштаби стоку вуглецю з атмосфери в ґрунт і темпах емісії CO₂, CH₄, C₂H₆ суперечливі і фрагментарні [13]

Удосконалення практики ведення сільського господарства спричиняє зменшення вмісту вуглекислого газу в атмосфері внаслідок господарської діяльності людини та збільшення приросту біомаси рослин. Очікують, що в перспективі технології вирощування сільськогосподарських культур будуть відігравати важливу роль, оскільки вуглекислий газ в атмосфері можна перетворювати у рослинну біомасу, яка складається переважно з вуглецю. Підраховано, що в Україні площа ріллі становить 33 млн га, тобто 50 % наявної території (60,4 млн га). Стає очевидним, що внаслідок вирощування сільськогосподарських культур буде зростати рівень накопичення вуглекислого газу в органічній масі [14].

Розділ II. МЕТОДОЛОГІЯ, УМОВИ А ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Ґрунтово-кліматичні умови місця проведення досліджень

2.1.1. Ґрунтові умови

Дослідження проводились протягом 2018–2020 рр. на базі «Колекції енергетичних культур» Полтавського державного аграрного університету МОН (Полтавської ДАУ). Також окремі дослідження здійснювалися в науковій лабораторії агроекологічного моніторингу Полтавського ДАУ.

Польові дослідження проводилися в умовах Полтавської області, що територіально відносять до центральної частини України зони Лісостепу та характеризуються різноманітністю ґрунтових умов та помірно-континентальним кліматом. Загальна протяжність території із півночі на південь сягає 213,5 км, із заходу на схід – 245 км. Сільськогосподарські угіддя займають 75,3 %, що свідчить про можливість отримання значного обсягу аграрної продукції при вирощуванні культур. За виробництва валової продукції сільського господарства Полтавська область займає третю позицію, а от за територією – 7 місце в Україні (4,6 % площі), за обсягом виробництва зернових культур займає друге місце [28].

На сьогодні у Полтавській області налічується 53 види ґрунтів з-поміж яких найпоширеніші 12 агровиробничих груп (чорноземи, лучно-чорноземні, дерново-підзолисті, опідзолені, лучні, лучно-болотні, болоті, торфово-болотні, торфовища, дернові, солонці та солоді). Дані ґрунти вирізняються потужним гумусованим профілем (80–120 см), який утворено завдяки щорічному надходженню відмерлих рослинних решток за умов панування лучних степів, а також глибокому проникненню вологи, що перерозподіляла гумус. На Полтавщині найчастіше зустрічаються чорноземи – 64 %. Механічний склад ґрунтів змінюється із заходу до південного сходу – з легкосуглинкових до важкосуглинкових, решта території –

середньосуглинкові. Піщані та супіщані знаходяться на першій надзаплавній терасі річок. Середньогумусні відмінності чорноземів поширені на схід від долини Ворскли, а малогумусні – на захід від неї. Загалом зустрічається близько 8 типів ґрунтів. Ґрунтовий покрив області залежить від існуючого рельєфу. Окрім того, Лісостепова зона Полтавської області відрізняється від інших лісостепових областей наявністю близько третини площі орних земель та сільськогосподарських угідь, що мають засолені ґрунти. Найбільші масиви солонцюватих ґрунтів поширені на півдні області. Вони приурочені в умовах близького залягання ґрунтових вод. Важливими показниками ґрунтів є забезпеченість їх поживними речовинами, до яких відносять гумус ґрунту та основні біогенні елементи (азот, фосфор, калій), які впливають на ріст і розвиток рослин. За результатами агрохімічної паспортизації у 2014 р., більшість ґрунтів агропідприємств Полтавської області (49,2 %) мають середній вміст гумусу та значна частка (37,5 %) – підвищений. Високий і дуже високий рівні характерні для відповідно 10,5 % та 0,7 % обстежених ґрунтів. У середньому в області цей показник досягає 3,33 %. Кількість мікроелементів у ґрунтах місця проведення досліджень достатня для оптимального живлення сільськогосподарських культур. Ґрунти мають найбільший дефіцит у цинку, середньозабезпечені міддю та марганцем та достатньо забезпечені бором [23].

Незважаючи на наявність чорноземів та високий вміст гумусу в ґрунтах, в Полтавській області спостерігаються процеси, що зменшують родючість ґрунту. Основними чинниками зниження гумусу є ерозія, інтенсивна мінералізація органічної речовини, некомпенсоване відчуження основних елементів живлення з урожаєм культур. На зниження родючості ґрунтів також впливають процеси деградації земель. Сільськогосподарські угіддя характеризуються слабо та середньодифляційними процесами. Виняток у цьому – Диканський район, який має сильну вітрову ерозію. Зниження родючості ґрунтів унаслідок ерозійних процесів поширене в Чутівському, Решетилівському та Карлівському районах. 749 тис. га

сільськогосподарських угідь області зазнають впливу водної та вітрової ерозій (18,3 % та 18,8 % відповідно до загальної площі). Більшість земель (64,2 %) Полтавської області за агрохімічною оцінкою належить до земель підвищеної якості (50–60 балів), але спостерігається тенденція до її зниження. Територія Полтавської області входить до переліку умовно чистих земель, що дає змогу віднесення земель до спеціальних сировинних зон та вирощування на них органічної продукції. Ґрунтові ресурси є найвагомішою передумовою розвитку сільського господарства та спеціалізації в галузі рослинництва.

Полтавська область поділяється на 4 зони [104], які характеризуються певними особливостями:

I зона – Західна Лісостепова, в якій переважають чорноземи глибокомалогумусні та здебільшого легко- та середньосуглинисті ґрунти, значну площу займають опідзолені та деградовані, суглинкові ґрунти легкоmechanічного складу.

II зона – Східна Лісостепова, більше 50 % зони займають чорноземи мало- та середньогумусні, у центральній та північних частинах – суглинисті ґрунти та опідзолені чорноземи.

III зона – Перехідна-Південна, має рівнинний рельєф, основні ґрунти – чорноземи глибоко середньо гумусні, малогумусні легкого або середнього механічного складу, інколи зустрічаються й чорноземи солонцюваті.

IV зона – Південно-Західна, що має більшість ґрунтів – чорноземи глибокі, слабосолонцюваті та залишково-солонцюваті, місцями залягають засолені, лучні й болотні солонцюваті та солончакові ґрунти.

Велику роль у вологозабезпеченості території відіграють її водні ресурси. Територія Полтавської області розташована в межах Придніпровської низовини на лівобережжі басейну річки Дніпра. Місцевість являє собою рівнину, розділену річковими долинами та ярами. Поверхні водойми займають 5,2 % загальної площі області [24]. Таким чином, Полтавська область розташовується на території із сприятливими умовами з

агропоказниками близьких до оптимальних для розвитку сільського господарства. Більша її частина належить до сприятливої біокліматичної зони, окрім невеликої північної ділянки, що має її оптимальний рівень.

Для формування високої врожайності біомаси, просо прутоподібне рекомендовано вирощувати на ґрунтах із рівнем кислотності (рН) близькою до нейтральної. На таких ґрунтах рослини ефективно використовують елементи живлення, що необхідні для їхнього росту і розвитку. Небажаними для вирощування проса прутоподібного на землях, що засмічені злаковими бур'янами, знищення яких у посівах досить проблематичне. Якщо на полі, відведеному під закладку енергоплантації проса прутоподібного, є значна кількість багаторічних бур'янів, з осені перед оранкою їх треба знищити внесенням препарату суцільної дії [21, 38].

Отже, ґрунти Полтавської області в цілому придатні для вирощування всіх сільськогосподарських культур, в тому числі і проса прутоподібного.

2.1.2 .Кліматичні умови

Визначено, що зміна агрокліматичних умов на фоні негативних явищ потребує перегляду спеціалізованих зон насінництва польових та енергетичних культур для одержання високих врожаїв насіння з відмінними посівними якостями [39].

Встановлено, що найбільш сприятливі території для вирощування енергокультур, це ті, де середньорічна кількість опадів становить не менше 420 мм на рік, а оптимальна – понад 550 мм. Поряд з цим, при характеристиці природних умов території України для вирощування сільськогосподарських та енергокультур необхідно враховувати комплекс еколого-кліматичних чинників: коефіцієнт зволоження, вологість клімату, середньорічну температуру повітря, лісистість території та ін. [40].

Рівень зволоження Полтавської області в цілому – нерівномірний: у центральній частині характеризуються недостатнім зволоженням, у південно-

східній – посушливими умовами. Полтавська область в цілому поділяється на 4 зони, які характеризуються певними особливостями за температурою та кількістю опадів.

I зона – Західна Лісостепова, найбільш вологозабезпечена (середня кількість опадів становить близько 550 мм), але менш забезпечена теплом (сума ефективних температур – у межах 2600–2700°).

II зона – Східна Лісостепова з більш посушливим кліматом (середня кількість опадів становить 508 мм) та вищим тепловим режимом (сума ефективних температур підвищується до 2700–2800°).

III зона – Перехідна-Південна, найбільш посушлива зона (середня кількість опадів становить 480 мм) з найвищим тепловим режимом (сума ефективних температур сягає до 2800–2900°).

IV зона – Південно-Західна, кліматичні показники якої збігаються з показниками Східної Лісостепової зони [104].

Наші дослідження були розташовані у 2 точках, до яких відносяться метеостанції (МС): МС Полтава.

МС Полтава. Середня річна температура повітря за даними МС Полтава +9.7°, що вище минулого року на 0.7° та вище середньо багаторічного значення на 2.1°. Найхолоднішим був січень з середньою температурою повітря 5.9° морозу, у третій декаді січня відмічалася зниження мінімальної температури повітря до 21.2° морозу. Найтеплішим був серпень з середньою температурою повітря +23.2°, максимум температури повітря був у першій декаді серпня і становив +35.7 градусів. Річна сума опадів склала 443мм, що становить 78% середньо багаторічного значення. За теплий період (квітень – жовтень) випало 199 мм опадів (56%).

Характеризуючи погодні умови місця проведення досліджень протягом вегетаційного періоду проса прутоподібного за травень-жовтень, відмічаємо нерівномірності опадів. В окремі періоди росту й розвитку рослин фіксували відсутність опадів, що дозволило оцінити реакцію рослин на стійкість до посухи.

Таблиця 2.1.

Середня температура повітря протягом років дослідження, 2018–2020 рр.

місяць	декада	температура			опади		
		2018	2019	2020	2018	2019	2020
січень	1	1,0	-5,2	-1,1	8,1	7,6	6,2
	2	-4,6	-4,5	-0,1	8,0	15,4	3,4
	3	-6,0	-5,8	0,8	14,2	30,6	11,0
<i>Сума за місяць</i>		-3,2	-5,2	-0,1	30,3	53,6	20,6
лютий	1	-1,3	-0,4	-2,2	25,0	3,3	17,9
	2	-2,6	-0,1	1,7	5,5	14,6	15,6
	3	-10,0	-2,1	2,9	6,4	0,7	24,0
<i>Сума за місяць</i>		-4,6	-0,9	0,8	36,9	18,6	57,5
березень	1	-4,8	3,4	9,2	41,5	7,5	3,2
	2	-2,7	3,8	6,0	47,2	8,9	10,7
	3	-0,9	4,7	5,3	15,5	7,4	6,9
<i>Сума за місяць</i>		-2,8	4,0	6,8	104,2	23,8	20,8
квітень	1	9,6	9,6	8,2	12,6	0,0	0,0
	2	12,9	8,8	7,9	4,6	21,5	9,7
	3	14,7	14,0	11,1	10,1	11,6	15,6
<i>Сума за місяць</i>		12,4	10,8	9,1	27,3	33,1	25,3
травень	1	21,9	13,8	14,4	0,0	34,3	47,0
	2	15,9	18,4	13,4	46,6	2,4	19,6
	3	18,7	20,2	12,8	0,0	27,1	43,5
<i>Сума за місяць</i>		18,8	17,5	13,5	46,6	63,8	110,1
червень	1	17,7	22,3	18,8	1,8	33,1	49,8
	2	22,3	24,4	23,8	13,9	2,4	15,6
	3	21,5	22,4	23,4	53,7	3,1	2,3
<i>Сума за місяць</i>		20,5	23,0	22,0	69,4	38,6	67,7
липень	1	20,6	20,3	23,9	0,6	24,9	13,6
	2	22,1	19,2	20,5	19,4	3,5	20,9
	3	23,6	22,1	22,7	78,8	14,4	5,0
<i>Сума за місяць</i>		22,1	20,5	22,4	98,8	42,8	39,5
серпень	1	23,0	18,8	22,0	0,0	1,7	-
	2	23,3	21,9	20,6	0,4	1,1	7,0
	3	22,4	22,5	21,5	1,0	0,0	8,9
<i>Сума за місяць</i>		22,9	21,1	21,4	1,4	2,8	15,9

<i>Продовження таблиці 2.1.</i>							
вересень	1	21,5	20,5	22,2	49,1	5,3	1,8
	2	18,4	16,0	17,0	4,3	1,8	-
	3	12,7	11,6	16,7	29,1	14,5	19,2
<i>Сума за місяць</i>		17,5	16,0	18,6	82,5	21,6	21,0
жовтень	1	10,9	10,3	15,2	7,4	41,4	2,6
	2	14,0	14,4	12,6	0,0	0,0	22,5
	3	8,7	7,8	6,3	11,0	1,4	18,6
<i>Сума за місяць</i>		11,2	10,8	11,4	18,4	42,8	43,7
листопад	1	4,4	8,4	7,8	0,3	8,6	5,9
	2	-1,5	4,2	-4,6	6,1	1,4	4,6
	3	-4,2	-1,6	1,3	17,2	22,8	17,8
<i>Сума за місяць</i>		-0,4	3,7	1,5	23,6	32,8	28,3
грудень	1	-2,5	0,2	0,5	28,7	10,9	48,8
	2	-2,9	2,7	-2,6	13,4	7,4	12,6
	3	-2,9	3,2	-1,8	39,2	10,3	13,8
<i>Сума за місяць</i>		-2,8	2,0	-1,3	81,3	28,6	75,2
<i>Сума за рік</i>		111,6	123,4	126,0	620,7	402,9	525,6

Відмічено також періоди надмірного зволоження на фоні підвищених температур, що дало можливість визначити стійкість рослин проса прутноподібного до різких коливань погодних умов (табл. 2.1).

2.2. Методика польових та лабораторних досліджень

Дослідження емісії та секвестрації діоксиду карбону ґрунтом в залежності від урожайності енергетичних культур проводили упродовж 2018–2020 рр. у стаціонарному досліді колекції енергетичних культур Полтавської державної аграрної академії, закладеному у 2014 році. Відбір проб здійснювався щороку упродовж дослідного періоду в травні.

Лабораторно-аналітичні дослідження проводилися у Полтавській аграрній академії на базі лабораторії агроекологічного моніторингу ПДАА (свідоцтво про атестацію №042-19). Відбір проб ґрунтів на вивчення динаміки емісії С-СО₂ та накопичення С_{орг} проводили згідно з вимогами ДСТУ ГОСТ 17.4.3.01:2019 «Охорона довкілля. Якість ґрунту. Загальні

вимоги до відбирання проб (ГОСТ 17.4.3.01-2017, IDT)», ДСТУ ГОСТ 17.4.4.02:2019 «Охорона довкілля. Якість ґрунту. Методи відбирання та підготування проб для хімічного, бактеріологічного, гельмінтологічного аналізу (ГОСТ 17.4.4.02-2017, IDT)», які встановлюють основні вимоги щодо виконання відбору проб [41, 42].

Ґрунтові зразки відбирали у весняний та осінній період перед початком польових робіт та після їх закінчення на пробних майданчиках розміром 10×10 м (відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 17.4.4.02:2019) спеціальним буром на глибині 0–10 см, у спеціальні одноразові контейнери масою 1 кг, конвертним методом (рис. 2.1), що характеризує усереднений склад об'єкта контролю в даному місці на час відбору, будучи різновидом об'єднаної проби.

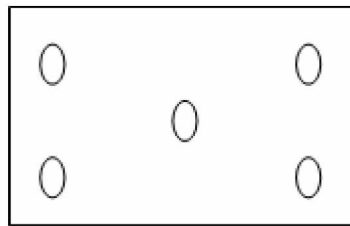


Рис. 2.1. Схема відбору зразків за одинарним конвертом.

Маса точкової проби, призначеної для складання об'єднаної, становила 200 грамів. Проби відбиралися у різних місцях з ДСТУ ГОСТом 17.4.4.02:2019 і ДСТУ ГОСТом 17.4.3.01:2019 у чотирьохразовій повторюваності. Після прикріплення ярлика (місце, дата, глибина відбору, номер проби), для запобігання пошкодження під час транспортування, одноразові контейнери вміщували в картонні коробки. У лабораторії для зменшення об'єму об'єднаної проби використовували метод квартування. Під час відбору проб дотримувалися вимог щодо техніки безпеки згідно з інструкцією нормативного документу.

Інтенсивність накопичення органічного вуглецю від рослинних решток, під час вирощування енергетичних культур визначали оксидиметричним методом за ДСТУ 4289:2004 Якість ґрунту. Методи

визначання органічної речовини. Попередньо підготовлену повітряно-суху, просіяну через сито пробу ґрунту, масою 0,3 г та пемзу, яку використовували в якості контрольних («холостих») проб, зважували з точністю 0,1 г на лабораторних аналітичних вагах загального призначення 4-го класу з найбільшою границею зважування 500 г за ГОСТ 24104 та поміщали в сухі термостійкі конічні колби місткістю 100 см³ типу Кн-1-100-14 згідно ГОСТ 25336. У кожену колбу з бюретки додавали по 25 мл 0,4 Н хромової суміші, після чого закривали скляними лійками діаметром не менше 4 см та круговими рухами перемішували вміст. Підготовлені таким чином всі проби ґрунту з окисником, а також контрольні проби, вміщували у попередньо розігріту до 120 °С шафу і витримували 20-30 хв до закінчення процесу окиснення. Після охолодження зразків, лійки ретельно обмивали дистильованою водою та проводили титрування 0,2 Н розчином солі Мора в присутності 3-5 крапель індикатора 0,2% розчину фенілантранілової кислоти до зміни його забарвлення.

Усі визначення проводилося в трьохразовій повторюваності. Масову частку вуглецю органічної речовини у відсотках (%C_{орг}) розраховували за формулою:

$$\%C = \frac{(a-b) \cdot n_1 \cdot 0,0003 \cdot 100}{m \cdot n_0} \quad (2)$$

де:

C- вміст вуглецю, %;

a – кількість розчину солі Мора, витраченого на титрування контрольної проби, см³;

b – кількість розчину солі Мора, витраченого на титрування проби з ґрунтом, см³;

n₁ – нормальність робочого розчину солі Мора, г*екв/дм³;

n₀ – нормальність точного розчину солі Мора, г*екв/дм³;

0,0003 – грамівий еквівалент вуглецю, що відповідає 1 см³ розчину солі Мора, г/см³;

m – наважка ґрунту, г;

I_{00} – коефіцієнт перерахування, %.

Показник екологічної стійкості ґрунту (ЕС) розраховували використовуючи значення інтенсивності емісії діоксиду карбону (CO_2) за формулою:

$$\text{ЕС} = |I_1 - I_2| * 100 / I_1, \quad (3)$$

де:

ЕС - екологічна стійкість ґрунту, %;

I_1 - інтенсивність респірації CO_2 з ґрунту цілинної ділянки, мг CO_2 /кг ґрунту за добу;

I_2 - інтенсивність респірації CO_2 з ґрунту досліджуваної ділянки, мг CO_2 /кг ґрунту за добу.

РОЗДІЛ 3

ІНТЕНСИВНІСТЬ ДЕПОНУВАННЯ ОРГАНІЧНОГО ВУГЛЕЦЮ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД УРОЖАЙНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

3.1. Депонування карбону під час вирощування енергетичних культур в залежності від років вирощування

Існує декілька гіпотез, що припускають існування певного рівня насичення ґрунту Органічним Карбоном, що базується на фізико-хімічних процесах, які стабілізують або захищають органічні сполуки в ґрунтах. У той же час значна кількість довгострокових польових експериментів доводять пропорційну взаємозалежність між надходженням вуглецю та його вмістом у ґрунті при різни їх варіантах вирощування культур [20]. Деякі експерименти на ґрунтах з високими вмістом карбону демонструють незначний або нульовий приріст вмісту органічного карбону у ґрунті при збільшенні в два-три рази рівнів надходження органічного матеріалу для розкладання (підстилки) [4].

Вважається, що різні фізичні властивості ґрунту (наприклад, гранулометричний склад та мікроагрегація) беруть участь в захисті органічних матеріалів від мікроорганізмів, що розкладають иру оранічне речовину.

Однак, ці властивості, та захист який вони здійснюють, очевидно, обмежений їх характеристиками, наприклад з площею поверхні та глибиною, що узгоджується з явищем насичення [11].

Взаємозв'язок між структурою ґрунту та здатністю ґрунту стабілізувати органічні речовини ґрунту є ключовим елементом динаміки С ґрунту.

Забезпечення ґрунту органічним карбоном безпосередньо пов'язане з кругообігом у ньому CO_2 . Процес накопичення карбону відбувається за рахунок розкладання фітомаси (підстилки), сформованої у процесі

фотосинтезу, а розкладання органічних сполук, відбувається під час мінералізації з виділенням CO_2 в атмосферу

У глобальному біосферному Карбоновому циклі пріоритетне значення належить органічній речовині ґрунту (ОРГ). Тому навіть незначна інтенсифікація процесу розкладання ОРГ, загрожує збільшенню концентрації CO_2 в атмосфері [23]. У зв'язку з цим, оптимізація утворення і накопичення ОРГ та її мінералізації є важливим аспектом відтворення родючості ґрунтів (у тому числі і маргінальних) та регулювання вмісту CO_2 в атмосфері.

На цілих ґрунтах процес утворення ОРГ (гуміфікація) переважає над процесом його розкладання (мінералізація), у результаті чого відбувається поступове накопичення ОРГ у ґрунті [15]. Буди – який вид агротехнічного обробітку ґрунту, інтенсифікує процес мінералізації ОРГ у порівнянні з цілими аналогами.

Коли рослинні залишки повертаються в ґрунт, різні органічні сполуки піддаються розкладанню. Розкладання - це біологічний процес, що включає фізичний розпад та біохімічне перетворення складних органічних молекул мертвого матеріалу в простіші органічні та неорганічні молекули [3]

Постійне додавання загниваючих рослинних залишків на поверхню ґрунту сприяє біологічній активності та процесу кругообігу вуглецю в ґрунті. Розпад органічної речовини ґрунту, ріст і загнивання коренів також сприяють цим процесам. Кругообіг вуглецю - це безперервна трансформація органічних та неорганічних сполук вуглецю рослинами та мікро- та макроорганізмами між ґрунтом, рослинами та атмосферою

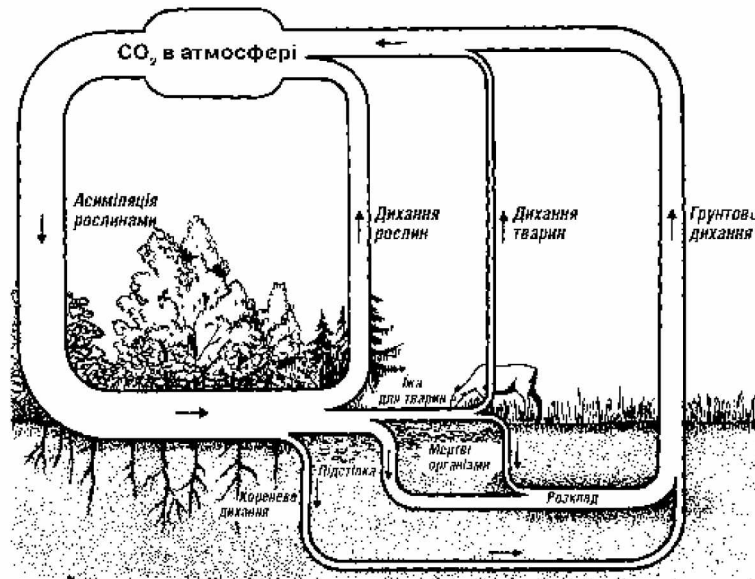


Рисунок 3.1. . Кругообіг карбону в біосфері.

Розкладання органічної речовини - це здебільшого біологічний процес, який відбувається природним шляхом. Його швидкість визначається трьома основними факторами: ґрунтовими організмами, фізичним середовищем та якістю органічної речовини [45]. У процесі розкладання виділяються різні продукти: вуглекислий газ (CO₂), енергія, вода, рослинні поживні речовини та ресинтезовані органічні сполуки вуглецю. Послідовне розкладання мертвого матеріалу та модифікованих органічних речовин призводить до утворення більш складної органічної речовини, яка називається гумусом (Juma, 1998). Цей процес називається гуміфікацією. Гумус впливає на властивості ґрунту. Поступово розкладаючись, він забарвлює ґрунт темніше; підвищує агрегацію ґрунту та стійкість заповнювачів; збільшує ЦВК (здатність залучати та утримувати поживні речовини); і вносить N, P та інші поживні речовини.

Ґрунтові організми, включаючи мікроорганізми, використовують органічну речовину ґрунту як їжу. Розщеплюючи органічну речовину, надлишки поживних речовин (N, P і S) потрапляють у ґрунт у формах, які рослини можуть використовувати. Цей процес випуску називається мінералізацією. Відходи виробництва мікроорганізмів також є органічною речовиною ґрунту. Цей відхід менш розкладається, ніж вихідний рослинний

та тваринний матеріал, але його може використовувати велика кількість організмів. Руйнуючи вуглецеві структури та відновлюючи нові або зберігаючи С у власну біомасу, ґрунтова біота відіграє найважливішу роль у процесах кругообігу поживних речовин і, отже, у здатності ґрунту забезпечувати урожай достатньою кількістю поживних речовин для отримання здорового врожаю. продукту. Вміст органічної речовини, особливо більш стабільний гумус [15].

Секвестрування вуглецю в ОРГ розглядається як один із способів пом'якшення кліматичних зміни за рахунок зменшення концентрації атмосферного вуглекислого газу. Науково обґрунтовано, що незначне збільшення ОРГ на дуже великих площах сільськогосподарських та пасовищних угідь значно зменшить атмосферний вуглекислий газ. Щоб відновлення було тривалим, органічні речовини повинні бути у більш стабільних або стійких фракціях (табл. 1). Для отримання додаткової інформації [12, 16,]

Тип ґрунту, клімат ґрунтовий менеджмент суттєво впливають на надходження органічної речовини в ґрунт і її кругообіг або розкладання. Атмосферні опади є одним з основних факторів росту культур (біомаси) і біологічної активності, які призводять до розкладання органічних речовин, що надходять в ґрунт.

Більшість органічних речовин ґрунту походить із рослинних залишків, які містять 60-90 відсотків вологи. У екосистемі ґрунту швидкість розкладання та накопичення органічної речовини ґрунту визначається такими властивостями ґрунту, як текстура, рН, температура, вологість, аерація, мінералізація глини та біологічна діяльність ґрунту. Складність полягає в тому, що органічні речовини ґрунту в свою чергу впливають або змінюють багато з тих самих властивостей ґрунту.

Органічні речовини, що існують на поверхні ґрунту у вигляді сирих рослинних залишків, допомагають захистити ґрунт від впливу опадів, вітру та сонця. Видалення, включення або спалення залишків піддає ґрунт

негативним кліматичним впливам, а видалення або спалення позбавляє ґрунтові організми основного джерела енергії.

Коли швидкість накопичення органічних решток менше швидкості розкладання, органічна речовина ґрунту зменшується. І навпаки, коли швидкість накопичення рослинних решток більше швидкості розкладання, органічна речовина ґрунту збільшується. Термін «стійкість ОРГ» описує стан, рівноваги між швидкістю накопичення органічних решток та швидкістю їх розкладання.

Швидкість накопичення органічної речовини в ґрунті значною мірою залежить від кількості та якості органічної речовини, що вноситься.

Вирощування енергетичних культур на маргінальних землях, можна розглядати як один із заходів для накопичення ОРГ у ґрунті, через наявність значної кількості листового опаду (підстилки) та щорічного розвитку кореневої системи.

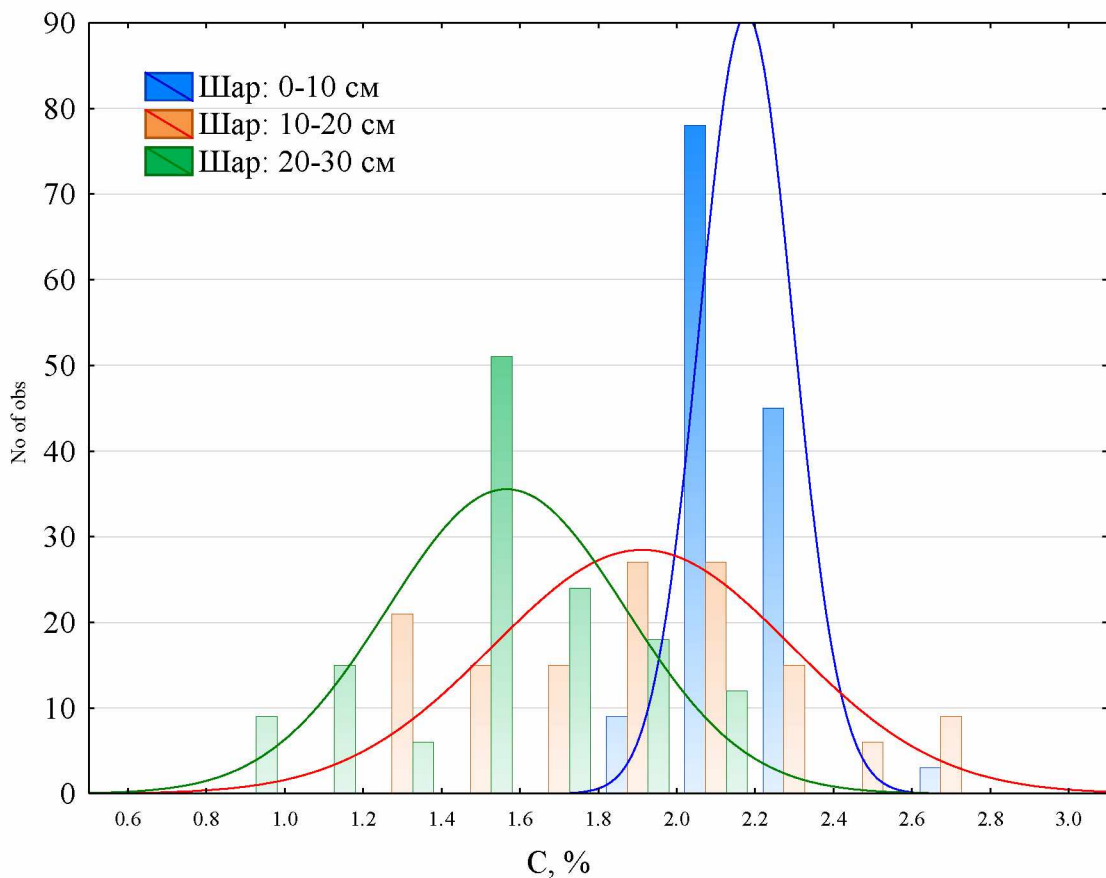


Рис. 3.1. Статистичний розподіл депонування карбону у контрольних умовах (цілина). Ось абсцис – вміст С, %; ось ординат – кількість спостережень

Рис. 3.1. Депонування карбону в ґрунті (% C) для культур різного року вегетації на різних глибинах ґрунту (N = 15)

Веgetаційний рік	Варіант	Шар	2018			2019			2020		
			Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум
3	Цілина	0-10 см	2.16±0.029	1.94	2.36	2.16±0.045	1.93	2.66	2.19±0.011	2.11	2.26
		10-20 см	1.89±0.090	1.36	2.23	1.91±0.079	1.39	2.47	1.92±0.127	1.28	2.64
		20-30 см	1.54±0.021	1.39	1.68	1.54±0.104	0.92	1.91	1.60±0.090	1.11	2.17
	Світчґрас	0-10 см	2.23±0.043	1.96	2.48	2.23±0.116	1.77	2.90	2.37±0.085	1.62	2.96
		10-20 см	1.98±0.068	1.56	2.24	1.98±0.055	1.68	2.20	2.35±0.146	1.03	2.98
		20-30 см	1.59±0.080	1.28	2.06	1.61±0.036	1.38	1.74	1.69±0.072	1.11	2.11
	Міскантус	0-10 см	2.27±0.081	1.82	2.78	2.40±0.085	1.98	2.92	2.43±0.055	2.13	2.75
		10-20 см	2.14±0.095	1.73	2.68	2.16±0.072	1.19	2.37	2.29±0.073	1.83	2.57
		20-30 см	1.55±0.016	1.41	1.66	1.68±0.098	1.08	2.11	1.71±0.055	1.38	1.96
4	Цілина	0-10 см	2.16±0.029	1.94	2.36	2.16±0.045	1.93	2.66	2.19±0.011	2.11	2.26
		10-20 см	1.89±0.090	1.36	2.23	1.91±0.079	1.39	2.47	1.92±0.127	1.28	2.64
		20-30 см	1.54±0.021	1.39	1.68	1.54±0.104	0.92	1.91	1.60±0.090	1.11	2.17
	Світчґрас	0-10 см	2.24±0.048	1.92	2.44	2.26±0.067	1.83	2.52	2.43±0.077	2.17	2.86
		10-20 см	2.01±0.208	1.27	3.16	2.01±0.208	1.27	3.16	2.40±0.085	1.98	2.92
		20-30 см	1.62±0.062	1.33	2.01	1.61±0.036	1.38	1.74	1.57±0.134	1.15	2.38
	Міскантус	0-10 см	2.30±0.047	2.05	2.61	2.41±0.144	1.95	3.23	2.41±0.112	2.01	3.06
		10-20 см	2.22±0.138	1.47	2.79	2.30±0.054	2.02	2.71	2.49±0.143	1.83	3.52
		20-30 см	1.64±0.058	1.33	2.01	1.68±0.096	1.11	2.09	1.93±0.016	1.83	2.04
5	Цілина	0-10 см	2.16±0.029	1.94	2.36	2.16±0.045	1.93	2.66	2.19±0.011	2.11	2.26
		10-20 см	1.89±0.090	1.36	2.23	1.91±0.079	1.39	2.47	1.92±0.127	1.28	2.64

Вегетаційний рік	Варіант	Шар	2018			2019			2020		
			Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум
		20-30 см	1.54±0.021	1.39	1.68	1.54±0.104	0.92	1.91	1.60±0.090	1.11	2.17
	Світчграс	0-10 см	2.28±0.023	2.13	2.41	2.31±0.088	1.78	2.67	2.46±0.027	2.35	2.64
		10-20 см	2.12±0.107	1.59	2.64	2.18±0.030	2.02	2.35	2.41±0.144	1.95	3.23
		20-30 см	1.66±0.053	1.36	1.89	1.62±0.033	1.45	1.85	1.60±0.047	1.34	1.84
	Міскантус	0-10 см	2.34±0.057	1.67	2.61	2.42±0.162	1.68	3.27	2.80±0.156	1.93	3.41
		10-20 см	2.24±0.026	2.03	2.39	2.59±0.083	2.05	2.98	2.16±0.116	1.65	2.94
		20-30 см	1.65±0.026	1.51	1.82	1.78±0.037	1.48	1.97	1.97±0.105	1.52	2.58

Найбільший рівень депонування карбону під ціліною встановлений у шарі ґрунту 0–10 см, який дорівнює 2.17 ± 0.010 % та знаходиться в діапазоні від 1.93 до 2.66 %. У шарі ґрунту 10–20 см вміст карбону менший на 12.2 %, ніж у шарі 0–10 см, та становить 1.90 ± 0.033 % у діапазоні від 1.28 до 2.64 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону знижується ще більше. Воно менше, ніж у шарі 0–10 см на 28.10 % та менше, ніж у шарі 10–20 см на 18.10 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті становить 1.56 ± 0.026 % та знаходиться в діапазоні від 0.92 до 2.17 %.

Під насадженнями світчґрасу депонування карбону в ґрунті варіює у межах від 1.03 до 3.23 % (рис. 5.2). Діапазон варіювання цього показнику становить 2.20 %.

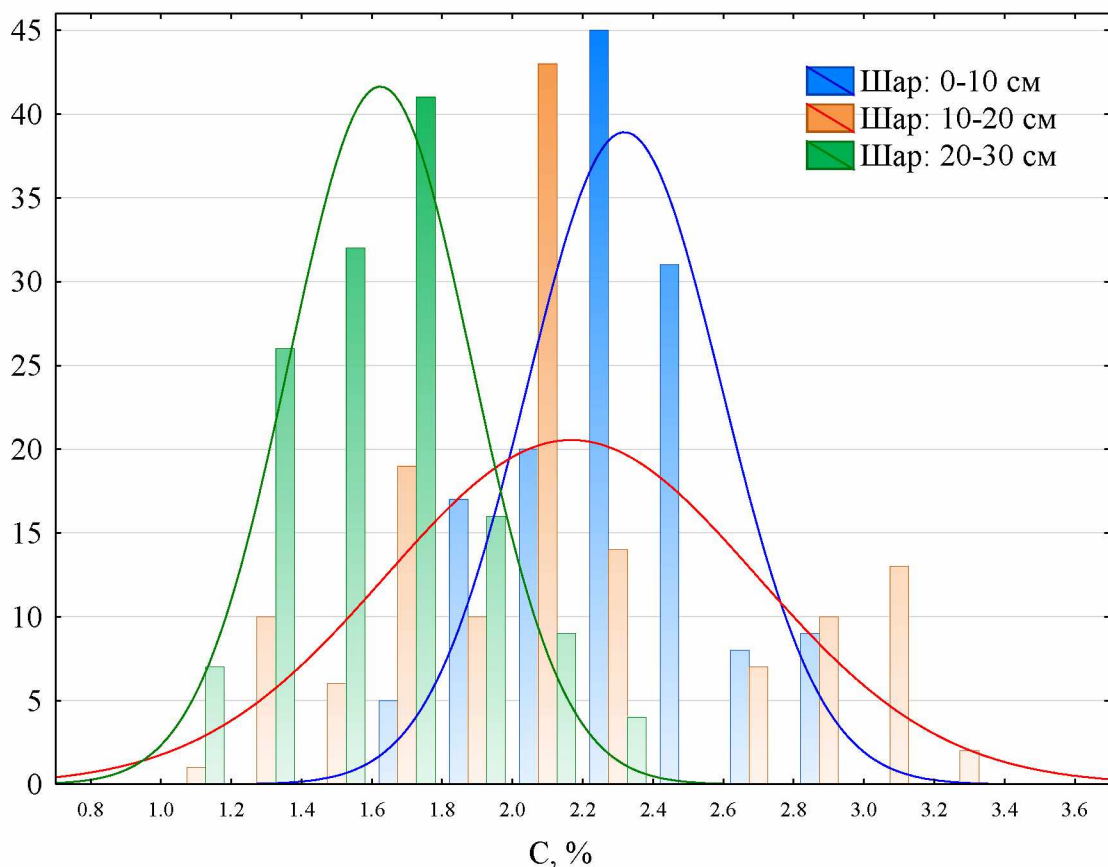


Рис. 3.2. Статистичний розподіл депонування карбону під насадженням світчґрасу. Ось абсцис – вміст С, %; ось ординат – кількість спостережень

Найбільший рівень депонування карбону під насадженням світчґрасу встановлений у шарі ґрунту 0–10 см, який дорівнює 2.31 ± 0.024 % та

знаходиться в діапазоні від 1.62 до 2.96 %. У шарі ґрунту 10–20 см вміст карбону менший на 6.5 %, ніж у шарі 0–10 см, та становить 2.16 ± 0.045 % у діапазоні від 1.03 до 3.23 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті знижується ще більше. Воно менше, ніж у шарі 0–10 см на 25.0 % та менше, ніж у шарі 10–20 см на 29.9 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті становить 1.62 ± 0.022 % та знаходиться в діапазоні від 1.11 до 2.38%.

Під насадженнями міскантусу депонування карбону в ґрунті варіює у межах від 1.67 до 3.41 % (рис. 5.3). Діапазон варіювання цього показнику становить 2.44 %.

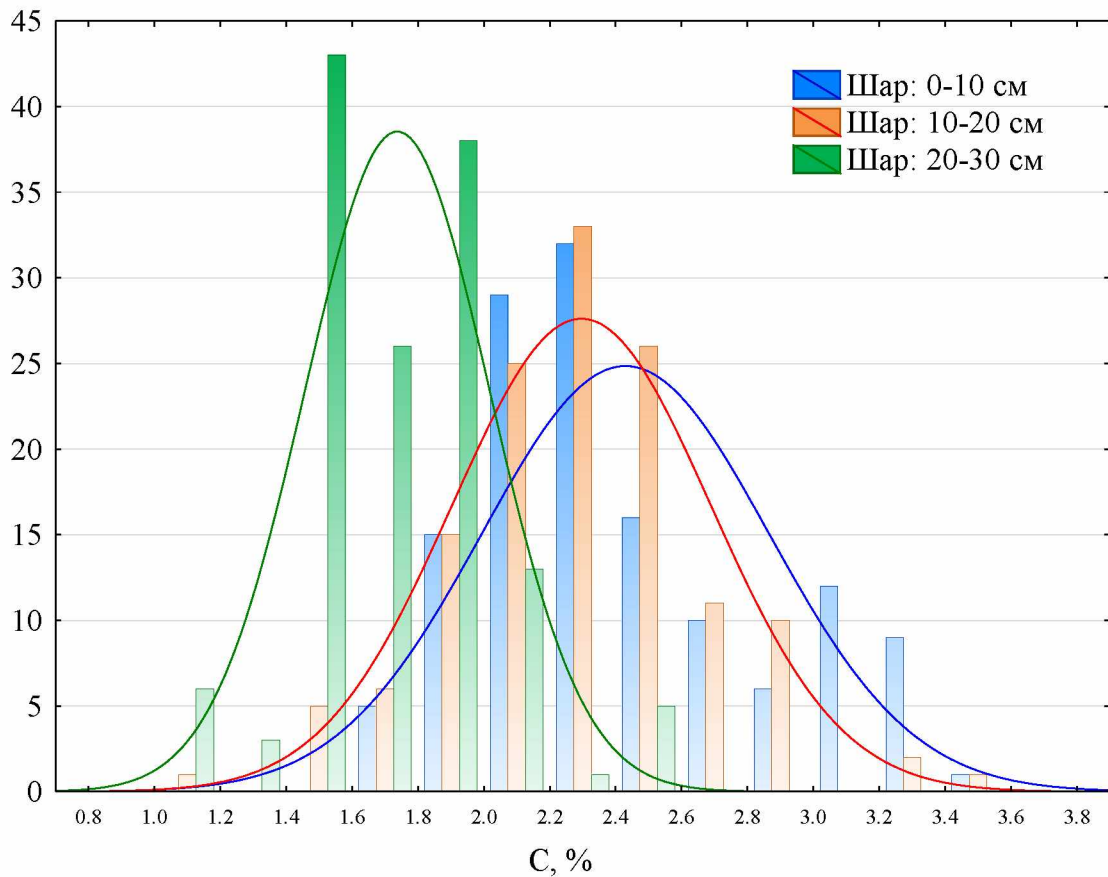


Рис. 3.3. Статистичний розподіл депонування карбону під насадженням міскантусу. Ось абсцис – вміст С, %; ось ординат – кількість спостережень

Найбільший рівень депонування карбону під насадженням міскантусу встановлений у шарі ґрунту 0–10 см, який дорівнює 2.42 ± 0.037 % та знаходиться в діапазоні від 1.67 до 3.41 %. У шарі ґрунту 10–20 см вміст

карбону менший на 5.5 %, ніж у шарі 0–10 см, та становить 2.29 ± 0.034 % у діапазоні від 1.19 до 3.52 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті знижується ще більше. Воно менше, ніж у шарі 0–10 см на 28.5 % та менше, ніж у шарі 10–20 см на 24.3 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті становить 1.73 ± 0.024 % та знаходиться в діапазоні від 1.08 до 2.58 %.

3.2. Порівняльний аналіз внеску різних факторів у варіювання депонування карбону в ґрунті

Культура, глибина шару ґрунту, рік та рік вегетації визначають 60 % варіювання депонування карбону в ґрунті (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Результати оцінки впливу культури, глибини шару ґрунту, року та року вегетації на вміст вуглецю у ґрунті за методом Загальної лінійної моделі ($R_{adj}^2 = 0.60$, $F = 58.1$, $p < 0.001$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступені вольності	Середня сума квадратів	F -відношення	p -рівень
Вільний член	4935	1	4935	75161	<0.001
Рік (Р)	3.28	2	1.64	25.0	<0.001
Веgetаційний рік (В)	1.51	2	0.75	11.5	<0.001
Культура (К)	17	2	8.45	129	<0.001
Шар ґрунту (Ш)	93	2	46.6	710	<0.001
Р×В	0.29	4	0.07	1.10	0.35
К×Рік	1.82	4	0.45	6.91	<0.001
В×К	1.55	4	0.39	5.90	<0.001
Ш×Р	0.76	4	0.19	2.90	0.02
Ш×В	0.58	4	0.15	2.22	0.05
Ш×К	2.07	4	0.52	7.89	<0.001
Помилка	77.6	1182	0.07	–	–

Культура є статистично вірогідним предиктором швидкості депонування карбону та здатна пояснити 8.5 % варіювання цього показника (рис. 5.4).

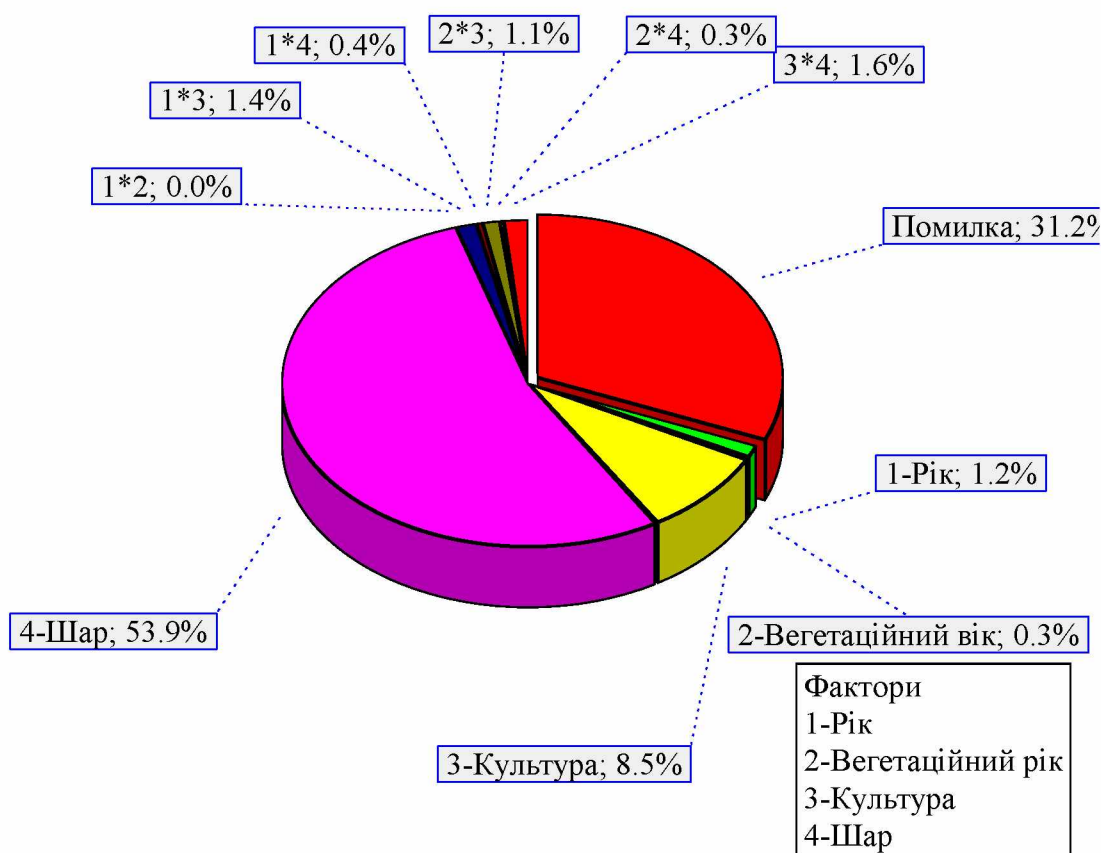


Рис. 5.4. Внесок впливу культури, глибини шару ґрунту, року та року вегетації, а також їх взаємодії, у варіацію депонування карбону ґрунтом

Ґрунт під цілинною рослинністю характеризується найменшим вмістом вуглецю (у середньому становить 1.87 ± 0.017 %) (рис. 5.5). Під світчграсом депонування карбону в ґрунті зростає на 7.1 % (у середньому становить 2.01 ± 0.020 %), що статистично вірогідно відрізняється від контролю ($F = 57.8$, $p < 0.001$). Депонування карбону в ґрунті під міскантусом також перевищує контроль на 15.4 % (у середньому становить 2.16 ± 0.021 %), що статистично вірогідно відрізняється від контролю ($F = 256.9$, $p < 0.001$). Рівень депонування карбону в ґрунті під міскантусом перевищує цей показник під просом на 7.7 %. Ця відмінність є статистично вірогідною ($F = 74.4$, $p < 0.001$).

РОЗДІЛ 4

АГРОЕКОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

4.1. Описові статистики депонування карбону

Депонування карбону в ґрунті, під час проведення досліджень коливалось в дуже широких межах (табл. 4.1). В цілих умовах (контроль) депонування карбону в ґрунті варіює у межах від 0.92 до 2.66 % (рис. 5.1). Діапазон варіювання цього показнику становить 1.74 %.

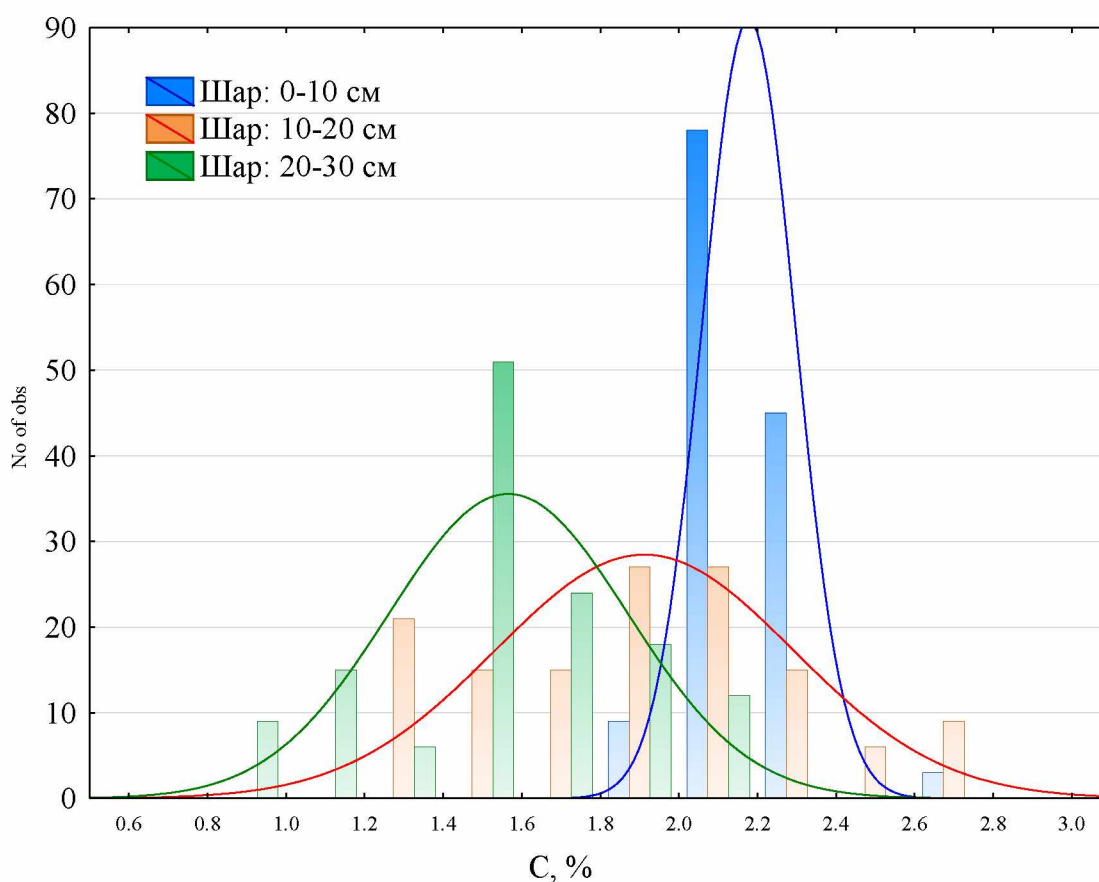


Рис. 5.1. Статистичний розподіл депонування карбону у контрольних умовах (цілина). Ось абсцис – вміст С, %; ось ординат – кількість спостережень

Рис. 5.1. Депонування карбону в ґрунті (% C) для культур різного року вегетації на різних глибинах ґрунту (N = 15)

Веgetаційний рік	Варіант	Шар	2018			2019			2020		
			Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум
3	Цілина	0-10 см	2.16±0.029	1.94	2.36	2.16±0.045	1.93	2.66	2.19±0.011	2.11	2.26
		10-20 см	1.89±0.090	1.36	2.23	1.91±0.079	1.39	2.47	1.92±0.127	1.28	2.64
		20-30 см	1.54±0.021	1.39	1.68	1.54±0.104	0.92	1.91	1.60±0.090	1.11	2.17
	Світчґрас	0-10 см	2.23±0.043	1.96	2.48	2.23±0.116	1.77	2.90	2.37±0.085	1.62	2.96
		10-20 см	1.98±0.068	1.56	2.24	1.98±0.055	1.68	2.20	2.35±0.146	1.03	2.98
		20-30 см	1.59±0.080	1.28	2.06	1.61±0.036	1.38	1.74	1.69±0.072	1.11	2.11
	Міскантус	0-10 см	2.27±0.081	1.82	2.78	2.40±0.085	1.98	2.92	2.43±0.055	2.13	2.75
		10-20 см	2.14±0.095	1.73	2.68	2.16±0.072	1.19	2.37	2.29±0.073	1.83	2.57
		20-30 см	1.55±0.016	1.41	1.66	1.68±0.098	1.08	2.11	1.71±0.055	1.38	1.96
4	Цілина	0-10 см	2.16±0.029	1.94	2.36	2.16±0.045	1.93	2.66	2.19±0.011	2.11	2.26
		10-20 см	1.89±0.090	1.36	2.23	1.91±0.079	1.39	2.47	1.92±0.127	1.28	2.64
		20-30 см	1.54±0.021	1.39	1.68	1.54±0.104	0.92	1.91	1.60±0.090	1.11	2.17
	Світчґрас	0-10 см	2.24±0.048	1.92	2.44	2.26±0.067	1.83	2.52	2.43±0.077	2.17	2.86
		10-20 см	2.01±0.208	1.27	3.16	2.01±0.208	1.27	3.16	2.40±0.085	1.98	2.92
		20-30 см	1.62±0.062	1.33	2.01	1.61±0.036	1.38	1.74	1.57±0.134	1.15	2.38
	Міскантус	0-10 см	2.30±0.047	2.05	2.61	2.41±0.144	1.95	3.23	2.41±0.112	2.01	3.06
		10-20 см	2.22±0.138	1.47	2.79	2.30±0.054	2.02	2.71	2.49±0.143	1.83	3.52
		20-30 см	1.64±0.058	1.33	2.01	1.68±0.096	1.11	2.09	1.93±0.016	1.83	2.04
5	Цілина	0-10 см	2.16±0.029	1.94	2.36	2.16±0.045	1.93	2.66	2.19±0.011	2.11	2.26
		10-20 см	1.89±0.090	1.36	2.23	1.91±0.079	1.39	2.47	1.92±0.127	1.28	2.64

Вегетаційний рік	Варіант	Шар	2018			2019			2020		
			Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум	Середня± ст.помилка	Мінімум	Максимум
		20-30 см	1.54±0.021	1.39	1.68	1.54±0.104	0.92	1.91	1.60±0.090	1.11	2.17
	Світчграс	0-10 см	2.28±0.023	2.13	2.41	2.31±0.088	1.78	2.67	2.46±0.027	2.35	2.64
		10-20 см	2.12±0.107	1.59	2.64	2.18±0.030	2.02	2.35	2.41±0.144	1.95	3.23
		20-30 см	1.66±0.053	1.36	1.89	1.62±0.033	1.45	1.85	1.60±0.047	1.34	1.84
	Міскантус	0-10 см	2.34±0.057	1.67	2.61	2.42±0.162	1.68	3.27	2.80±0.156	1.93	3.41
		10-20 см	2.24±0.026	2.03	2.39	2.59±0.083	2.05	2.98	2.16±0.116	1.65	2.94
		20-30 см	1.65±0.026	1.51	1.82	1.78±0.037	1.48	1.97	1.97±0.105	1.52	2.58

Найбільший рівень депонування карбону під ціліною встановлений у шарі ґрунту 0–10 см, який дорівнює 2.17 ± 0.010 % та знаходиться в діапазоні від 1.93 до 2.66 %. У шарі ґрунту 10–20 см вміст карбону менший на 12.2 %, ніж у шарі 0–10 см, та становить 1.90 ± 0.033 % у діапазоні від 1.28 до 2.64 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону знижується ще більше. Воно менше, ніж у шарі 0–10 см на 28.10 % та менше, ніж у шарі 10–20 см на 18.10 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті становить 1.56 ± 0.026 % та знаходиться в діапазоні від 0.92 до 2.17 %.

Під насадженнями світчґрасу депонування карбону в ґрунті варіює у межах від 1.03 до 3.23 % (рис. 5.2). Діапазон варіювання цього показнику становить 2.20 %.

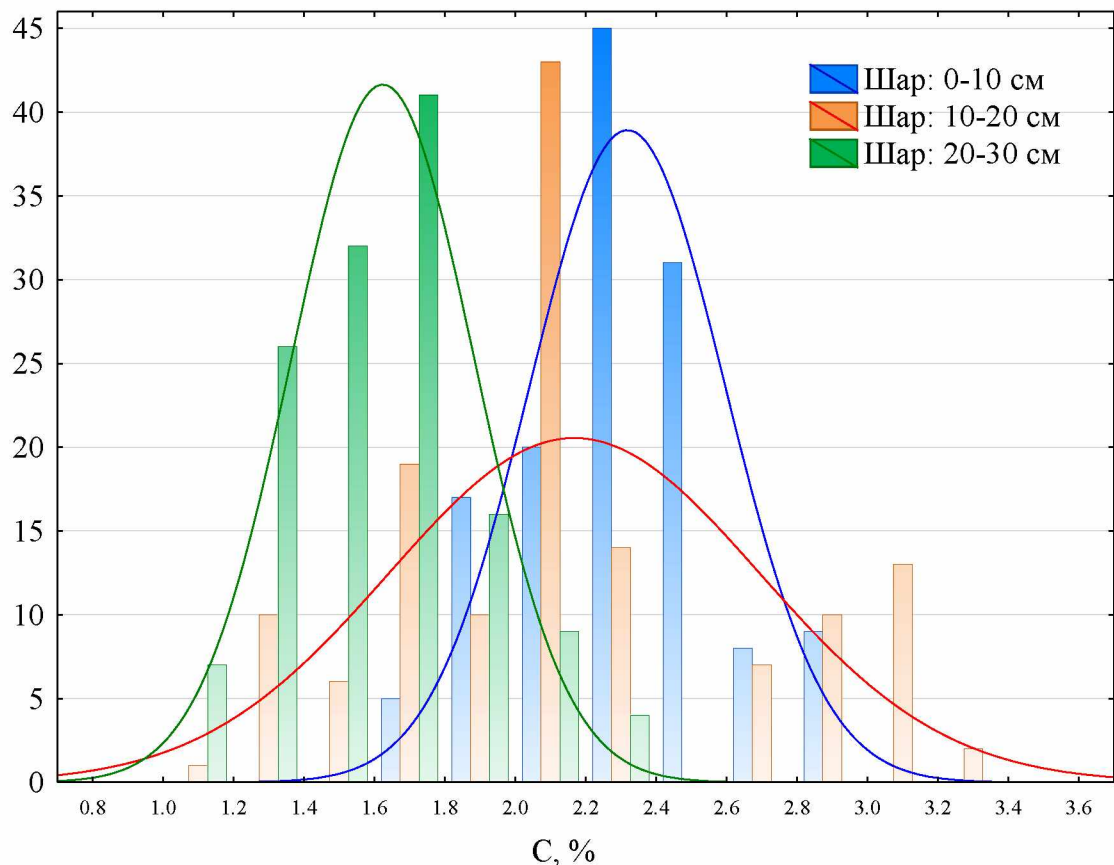


Рис. 4.2. Статистичний розподіл депонування карбону під насадженням світчґрасу. Ось абсцис – вміст С, %; ось ординат – кількість спостережень

Найбільший рівень депонування карбону під насадженням світчґрасу встановлений у шарі ґрунту 0–10 см, який дорівнює 2.31 ± 0.024 % та

знаходиться в діапазоні від 1.62 до 2.96 %. У шарі ґрунту 10–20 см вміст карбону менший на 6.5 %, ніж у шарі 0–10 см, та становить 2.16 ± 0.045 % у діапазоні від 1.03 до 3.23 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті знижується ще більше. Воно менше, ніж у шарі 0–10 см на 25.0 % та менше, ніж у шарі 10–20 см на 29.9 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті становить 1.62 ± 0.022 % та знаходиться в діапазоні від 1.11 до 2.38%.

Під насадженнями міскантусу депонування карбону в ґрунті варіює у межах від 1.67 до 3.41 % (рис. 5.3). Діапазон варіювання цього показнику становить 2.44 %.

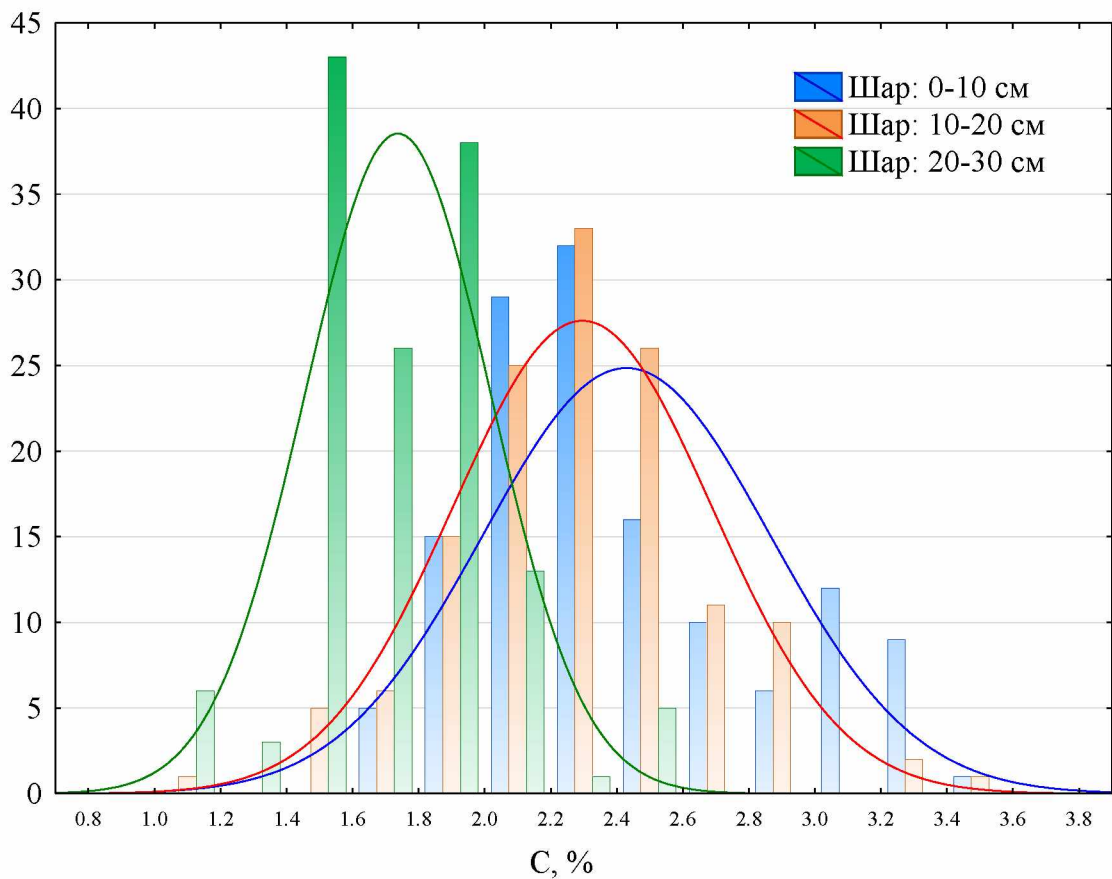


Рис. 4.3. Статистичний розподіл депонування карбону під насадженням міскантусу. Ось абсцис – вміст С, %; ось ординат – кількість спостережень

Найбільший рівень депонування карбону під насадженням міскантусу встановлений у шарі ґрунту 0–10 см, який дорівнює 2.42 ± 0.037 % та знаходиться в діапазоні від 1.67 до 3.41 %. У шарі ґрунту 10–20 см вміст

карбону менший на 5.5 %, ніж у шарі 0–10 см, та становить 2.29 ± 0.034 % у діапазоні від 1.19 до 3.52 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті знижується ще більше. Воно менше, ніж у шарі 0–10 см на 28.5 % та менше, ніж у шарі 10–20 см на 24.3 %. У шарі ґрунту 20–30 см депонування карбону в ґрунті становить 1.73 ± 0.024 % та знаходиться в діапазоні від 1.08 до 2.58 %.

4.2. Порівняльний аналіз внеску різних факторів у варіювання депонування карбону в ґрунті

Культура, глибина шару ґрунту, рік та рік вегетації визначають 60 % варіювання депонування карбону в ґрунті (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Результати оцінки впливу культури, глибини шару ґрунту, року та року вегетації на вміст вуглецю у ґрунті за методом Загальної лінійної моделі ($R_{adj}^2 = 0.60$, $F = 58.1$, $p < 0.001$)

Предиктор	Сума квадратів	Ступені вольності	Середня сума квадратів	F-відношення	p-рівень
Вільний член	4935	1	4935	75161	<0.001
Рік (Р)	3.28	2	1.64	25.0	<0.001
Веgetаційний рік (В)	1.51	2	0.75	11.5	<0.001
Культура (К)	17	2	8.45	129	<0.001
Шар ґрунту (Ш)	93	2	46.6	710	<0.001
Р×В	0.29	4	0.07	1.10	0.35
К×Рік	1.82	4	0.45	6.91	<0.001
В×К	1.55	4	0.39	5.90	<0.001
Ш×Р	0.76	4	0.19	2.90	0.02
Ш×В	0.58	4	0.15	2.22	0.05
Ш×К	2.07	4	0.52	7.89	<0.001
Помилка	77.6	1182	0.07	–	–

Культура є статистично вірогідним предиктором швидкості депонування карбону та здатна пояснити 8.5 % варіювання цього показника (рис. 5.4).

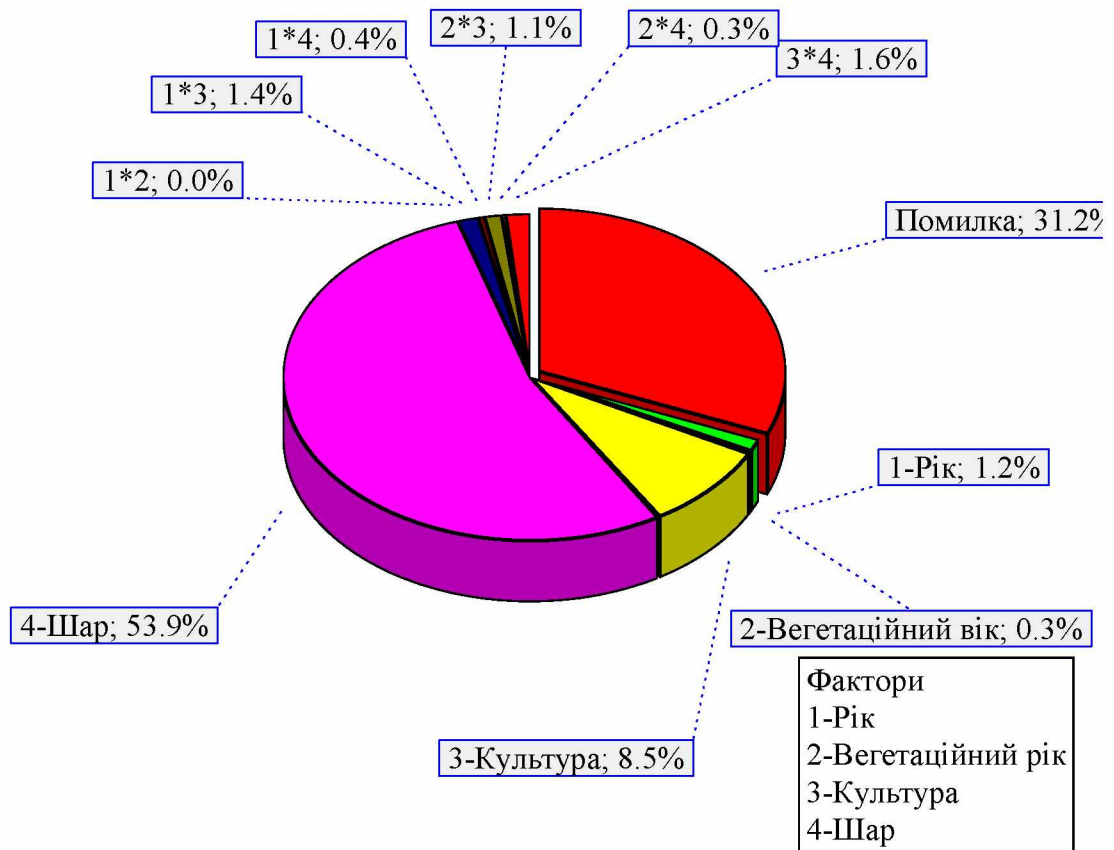


Рис. 5.4. Внесок впливу культури, глибини шару ґрунту, року та року вегетації, а також їх взаємодії, у варіацію депонування карбону ґрунтом

Ґрунт під цілинною рослинністю характеризується найменшим вмістом вуглецю (у середньому становить 1.87 ± 0.017 %) (рис. 5.5). Під світчграсом депонування карбону в ґрунті зростає на 7.1 % (у середньому становить 2.01 ± 0.020 %), що статистично вірогідно відрізняється від контролю ($F = 57.8$, $p < 0.001$). Депонування карбону в ґрунті під міскантусом також перевищує контроль на 15.4 % (у середньому становить 2.16 ± 0.021 %), що статистично вірогідно відрізняється від контролю ($F = 256.9$, $p < 0.001$). Рівень депонування карбону в ґрунті під міскантусом перевищує цей показник під просом на 7.7 %. Ця відмінність є статистично вірогідною ($F = 74.4$, $p < 0.001$).

Рік також є статистично вірогідним предиктором інтенсивності депонування карбону. Цей показник здатний пояснити 1.2 % варіації депонування карбону. Найменшим середній вміст карбону був у 2018 році, ще більшим він був у 2019 році, та найбільшим був у 2019 році (рис. 5.6). Спостережуваний патерн можна пояснити відмінностями температурного режиму різних років. Збільшення інтенсивності емісії викликане потеплінням протягом періоду спостереження. Найменшою середня річна температура була в 2018 році, а найбільшою – у 2020 році, що повністю пояснює міжрічні коливання інтенсивності депонування карбону.

Протягом віку вегетації інтенсивність депонування карбону демонструє тенденцію до зростання (рис. 5.7). У третій рік вегетації депонування карбону в ґрунті становить 1.99 ± 0.019 %.

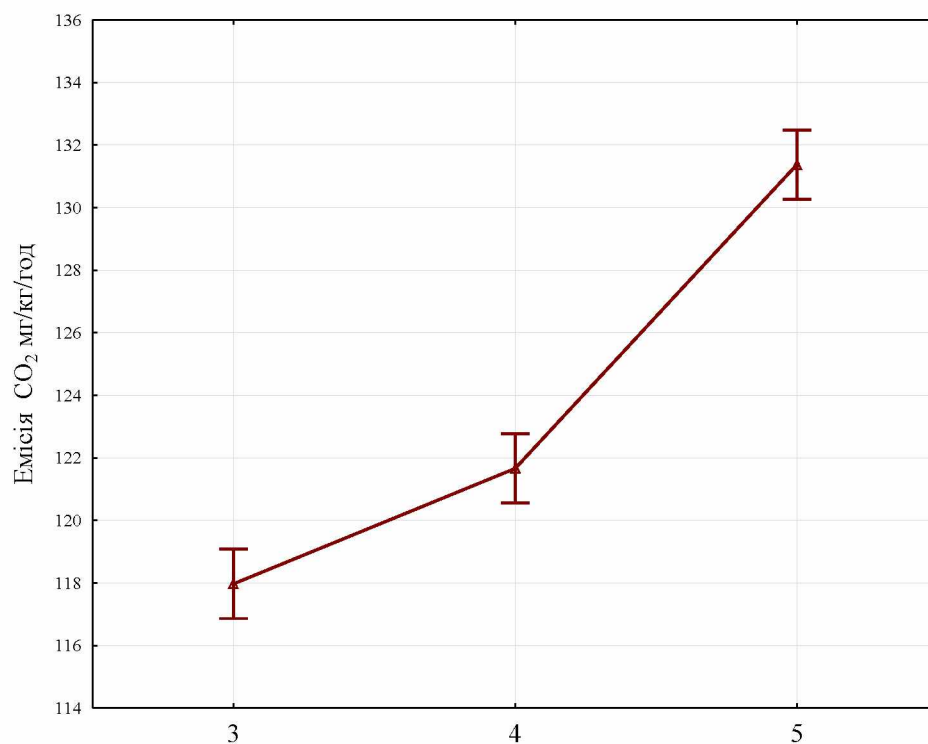


Рис. 4.7. Залежність депонування карбону від вегетаційного року (вертикальні лінії вказують на 95%-й довірчий інтервал). Ось абсцис – роки вегетації

На четвертий рік вегетації цей показник збільшується на 0.5 % до рівня 2.00 ± 0.019 %, що не є статистично вірогідно вище контролю ($F = 0.26$, $p = 0.60$). На п'ятий рік зростання становить 4.0 % порівняно з контролем (2.07 ± 0.022 %), або 3.5 % порівняно з попереднім роком. Це зростання порівняно з попереднім роком є статистично вірогідним ($F = 14.9$, $p < 0.001$).

Глибина шару ґрунту здатна пояснити 53.9 % варіювання інтенсивності депонування карбону. Зі зростанням глибини інтенсивність депонування карбону знижується (рис. 5.8).

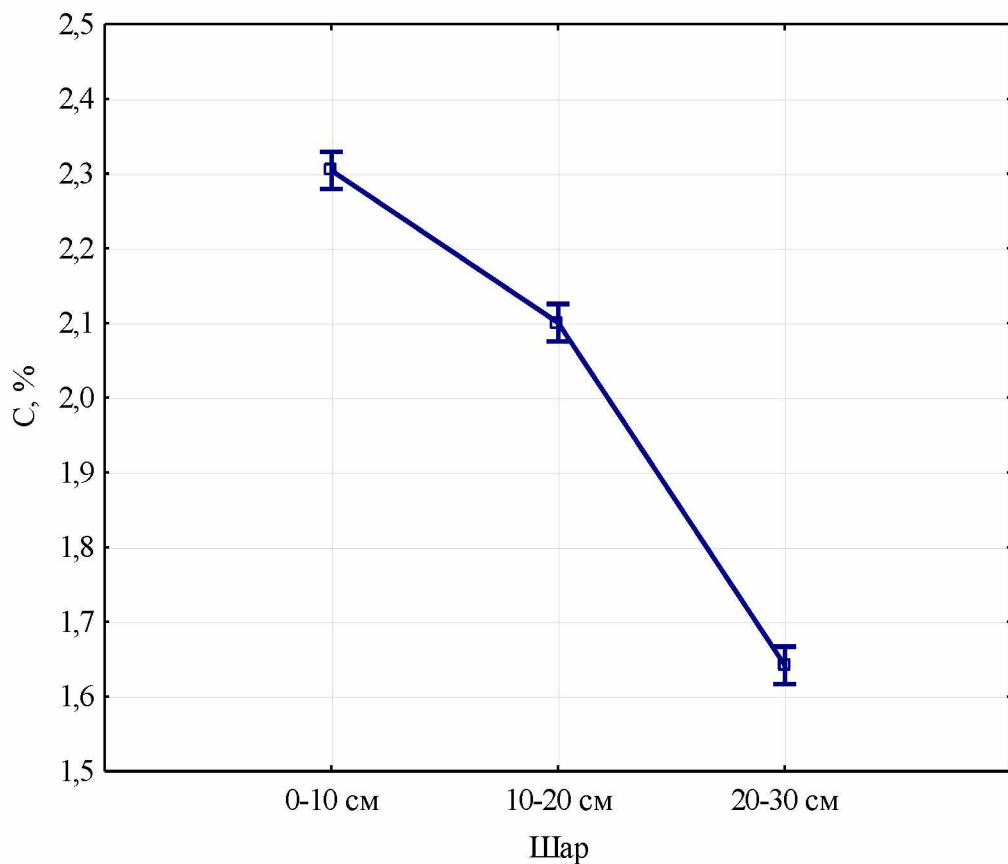


Рис. 5.8. Залежність депонування карбону від ґрунтового шару (вертикальні лінії вказують на 95%-й довірчий інтервал). Ось абсцис – шари ґрунту

У шарі ґрунту 0–10 см інтенсивність депонування карбону становить в середньому 2.30 ± 0.014 %. У шарі 10–20 см цей показник зменшується на 8.8 % та становить 2.10 ± 0.017 %. Це зменшення є статистично вірогідним ($F = 128.8$, $p < 0.001$). У шарі 20–30 см зменшення порівняно з верхнім шаром становить 28.7 %, а з попереднім – 21.8 % (1.64 ± 0.013 %). Цей показник

достовірно вірогідно відрізняється від вмісту вуглецю у більш високому шарі ґрунту ($F = 648.4$, $p < 0.001$). Відмінності в інтенсивності депонування карбону між шарами ґрунту можна пояснити відмінностями у щільності кореневої системи рослин, яка є головним джерелом органічної речовини на різні глибини. Біологічні особливості корневих систем різних видів рослин та ґрунтові особливості впливають на проникнення органічної речовини на різні глибини. Важливими факторами розвитку корневих систем рослин є забезпечення їх водним та повітряними ресурсами, що у кінцевому рахунку визначається агрегатною структурою ґрунту. Слід відзначити, що такий вплив є взаємним, так як коренева система рослин також є суттєвим чинником, який впливає на агрегатну структуру ґрунту.

Такі особливості можна пояснити профільним розподілом кореневої системи рослин та їх впливу на ґрунт. Енергетичні культури формують масивну мочкувату кореневу систему, яка значно насичує органічною речовиною потужні ґрунтові шари на значну глибину. Також мочкувата коренева система сприяє формуванню водостійкої агрегатної структури ґрунту, яка є умовою оптимізації повітряного та водного режиму ґрунту. Наявність повітря та необхідної кількості води є обов'язковою вимогою нормального функціонування ґрунтової біоти, результатом чого є активізація як процесів мінералізації, так і гуміфікації органічної речовини в ґрунті.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА

При проведенні аналітичних досліджень в хімічній лабораторії передбачено обов'язкове дотримання вимог техніки безпеки, протипожежних заходів, санітарних норм. Вищевказані правила діють згідно наступних нормативних документів:

- Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях, Наказ МНС України 11.09.2012 № 1192.
- Правила з безпечної експлуатації систем вентиляції у хімічних виробництвах. Наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 05.10.2009 N 164
- ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (далі - ГОСТ 12.1.005-88),
- ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности» (далі - ГОСТ 12.1.007-76).
- ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
- У лабораторіях птахофабрик, навчальних закладів постійно проводять наукові дослідження із застосуванням хімічних речовин. При неправильному поводженні з речовинами хімічного походження можливе отруєння працівників, хімічні опіки, розвиток професійних захворювань [1]. Міністерство надзвичайних ситуацій України наказом від 11 вересня 2012 року №1192 затвердило нові „Правила охорони праці під час роботи у хімічних лабораторіях” [2].
- Підлога у лабораторії повинна бути рівною, не слизькою, із зручною для очищення поверхнею, виконаною з матеріалів, тривких до кислот, лугів, розчинників та інших хімічних речовин. Стіни лабораторних приміщень мають бути з вогнестійких матеріалів, поверхню можна легко змивати. Лабораторії обладнують лабораторними столами з полицями завдовжки 1,82,7 м у розрахунку на кожного працівника. Ширина проходів між

обладнанням лабораторії повинна бути же не менше ніж 1,4 м. Біля робочих місць на видному місці вивішують інструкції з охорони праці і пожежної безпеки.

- У нових правилах охорони праці регламентовані вимоги щодо показників мікроклімату, вмісту шкідливих речовин, рівня шуму та вібрації, освітленості у хімічних лабораторіях .

- Рівень шуму в хімічних лабораторіях не повинен перевищувати норми – 60 дБА, встановленої „Державними санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку” (ДСН 3.3.6.037-99) та ГОСТ 12.1.003-83 “ССБТ. Шум. Общие требования безопасности”. Вібраційну безпеку слід забезпечувати дотриманням норм, встановлених “Державними санітарними нормами виробничої загальної та локальної вібрації” (ДСН 3.3.6.039-99) та ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 “ССБТ. Вибрационная опасность. Общие требования”. Приміщення хімічних лабораторій забезпечують природним, штучним та суміщеним освітленням залежно від характеристики зорової роботи відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 “Природне і штучне освітлення”. Місцеве освітлення повинно застосовуватись у комбінації із загальним освітленням. Застосування лише місцевого освітлення заборонено. Світильники місцевого освітлення за своїм улаштуванням повинні відповідати категорії та групі вибухонебезпечних речовин і бути влаштовані так, щоб працівник міг за бажанням змінити напрям світлового потоку. Показники мікроклімату в робочій зоні хімічних лабораторій мають відповідати вимогам „Державних санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень” (ДСН 3.3.6.042-99). У робочій зоні хімічних лабораторій вміст пилу, газів і пари шкідливих речовин не повинен перевищувати ГДК, встановлених ГОСТ 12.1.005-88. Перед початком роботи у витяжній шафі необхідно перевірити наявність тяги повітря. Всі відділки витяжної шафи, окрім тієї, де будуть виконувати роботу, закривають повністю стулками. У відділку виконання робіт стулку опускають нижче рівня обличчя лаборанта, але не нижче 0,4 м. Припливно-витяжну вентиляцію у всіх приміщеннях

лабораторії вмикають за 30 хвилин до початку проведення робіт і вимикають – після закінчення проведення робіт. При цьому спочатку вмикають витяжну вентиляцію, а потім припливну; вимикають навпаки – спочатку припливну, а потім витяжну. Роботи в лабораторії повинні проводитись тільки при справній вентиляції, необхідно передбачити автоматичне включення та блокування вентиляції. У разі виявлення будь-яких несправностей вентиляції працівник повинен повідомити про це керівника лабораторії, а також службу охорони праці. Приміщення хімічних лабораторій, призначені для робіт з надзвичайно небезпечними (1-й клас безпеки) і високонебезпечними (2-й клас безпеки) речовинами, повинні бути ізольовані від інших приміщень лабораторії, мати окремий вхід і витяжні шафи, не пов'язані з вентиляцією інших приміщень.

- Усі роботи з їдкими, отруйними, з різким запахом, легкозаймистими та вибухонебезпечними речовинами проводять в ізольованих (від загального приміщення лабораторії) і забезпечених ефективними вентиляційними пристроями приміщеннях або у витяжних шафах. Витяжні шафи обладнують відсмоктувачами. Під час приготування мийних і дезінфекційних розчинів потрібно одягати гумові рукавички і захисні окуляри. Світильники у витяжній шафі за своїм улаштуванням повинні бути у вибухобезпечному виконанні. Штепсельні розетки і вимикачі розташовують поза витяжною шафою. Для захисту працівників хімічних лабораторій від дії небезпечних та шкідливих факторів необхідно використовувати засоби колективного захисту відповідно до вимог ДСТУ 7238:2011 “ССБП. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація”. У приміщенні хімічних лабораторій повинні знаходитись первинні засоби пожежогасіння (ящики з сухим піском, вогнегасники, пожежні покривала з негорючого теплоізоляційного матеріалу тощо), для зазначення місцезнаходження яких встановлюють вказівні знаки відповідно до ДСТУ ISO 6309:2007 “Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір” (ISO 6309:1987, IDT) та ГОСТ 12.4.026-76 “ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности”

(ГОСТ 12.4.026-76). У разі аварійної перерви у подачі електричної енергії всі електроприлади повинні бути негайно вимкнені. Електропроводи і електроприлади, що знаходяться під напругою, у випадку пожежі необхідно зне струмити і гасити вуглекислотними вогнегасниками відповідно до вимог ДСТУ 3675-98, ДСТУ 3734-98. Заборонено гасити їх водою.

- Не можна залишати без нагляду робоче місце, ввімкнені нагрівальні прилади і працююче лабораторне обладнання, перелік якого визначений інструкцією з охорони праці, виробничої санітарії і пожежної безпеки. Атестація робочих місць за умовами праці працівників хімічних лабораторій повинна проводитись відповідно до вимог „Порядку проведення атестації робочих місць за умовами праці”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 1 серпня 1992 року №442. Роботодавцем повинні бути розроблені інструкції з охорони праці відповідно до вимог „Положення про розробку інструкцій з охорони праці” (НПАОП 0.004.15-98) на основі примірних інструкцій.

- Роботодавець розробляє план ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС) залежно від виду робіт, що виконуються у лабораторії та на підприємстві, відповідно до „Положення щодо розробки планів локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій” (НПАОП 0.00-4.3399). Заборонено виконувати роботи працівникам, які не ознайомлені з ПЛАС і не знають його у частині, що стосується роботи, яку вони безпосередньо виконують. Обов'язки щодо розробки і впровадження ПЛАС та відповідальність за його якість покладаються на власника (керівника) підприємства. При розробленні ПЛАС потрібно враховувати реальні можливості та ресурси підприємства, накопичений персоналом підприємства і спецпідрозділів досвід дій під час аварійних ситуацій та аварій, для забезпечення уяви щодо потрібних додаткових навичок та ресурсів. ПЛАС належить переглядати через кожні 5 років. У таблиці 1 наведені оперативні складові ПЛАС для аварій на рівні “А” (виробничого підрозділу), “В” (підприємства) та “С” (вихід за межі підприємства).

- При розробленні оперативної частини слід визначити всіх учасників протиаварійних дій. Крім того, потрібно реально визначити їхні функції, ресурси, обов'язки й ступінь участі. До складу учасників протиаварійних дій повинні входити

- – органи Держгірпромнагляду України;
- – спеціальні формування: районна (об'єктова) пожежна частина, воєнізована газорятувальна служба та інші;
- – міліція, медична (у т.ч. лікарні),
- - транспортна служби та служба соціального забезпечення;
- – органи з керівництва аварією та/або територіальні органи МНС;
- – комунальні служби району (міста);
- – керівництво підприємства;
- – органи масової інформації і зв'язку;
- – органи охорони здоров'я і навколишнього середовища.
- При розробленні оперативної частини потрібно:
 - – передбачити процедуру залучення населення до робіт щодо локалізації і ліквідації аварії;
 - – передбачити узгоджені дії виробничого персоналу, усіх залучених підрозділів і служб, а також населення;
 - – забезпечити спільні дії персоналу розташованих поруч підприємств (об'єктів) і органів місцевого самоврядування сусідніх районів.
- Працівники хімічних лабораторій повинні забезпечуватись спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) відповідно до вимог „Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту” (НПАОП 0.00-4.01-08) та норм безоплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам галузі. ЗІЗ мають відповідати вимогам „Технічного регламенту засобів індивідуального захисту”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2008 року №761,

ДСТУ 7239:2011 “ССБП. Засоби індивідуального захисту. Загальні вимоги та класифікація”, ГОСТ 12.4.103-83 “ССБТ. Одежда специальная защитная, средства индивидуальной защиты ног и рук. Классификация” та ГОСТ 12.4.013-85 “ССБТ. Очки защитные. Общие технические условия”. Працівнику лабораторії видають безкоштовно за встановленими галузевими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту: – халат бавовняний (згідно з ГОСТ ССБТ 12.4.10383); – ковпак бавовняний (згідно з ГОСТ ССБТ 12.4.01189); – взуття шкіряне (згідно з ГОСТ ССБТ 12.4.137-84); – окуляри захисні (згідно з ГОСТ ССБТ 12.4.013-85); – респіратор ШБ “Пелюстка” (згідно з ГОСТ ССБТ 12.4.004-74); – рукавички гумові (згідно з ГОСТ ССБТ 12.4.10383); – фартух спеціальний (згідно з ГОСТ ССБТ 12.4.02976).

- Також працівникам лабораторій безкоштовно видають господарське мило згідно НПАОП 0.00-3.06-22 “Про видачу мила на підприємствах” (затверджено Постановою НКТ РРФСР від 6.08.1922) із встановленими нормами (400 г на місяць). У разі проведення робіт за умов можливого впливу на працівників агресивних хімічних речовин (наприклад, кислот, лугів та ін.), їм потрібно видавати спецодяг, виготовлений з матеріалів, що забезпечують захист від цих впливів. Під час виконання своїх обов’язків працівник лабораторії зобов’язаний дотримуватися вимог санітарних норм та особистої гігієни: приступати до роботи тільки у засобах індивідуального захисту; приймати і утримувати протягом зміни робоче місце чистим і у належному порядку; зберігати їжу і їсти тільки у відведених місцях для цього місцях; зберігати харчові продукти, зокрема молочні, які видають на підприємстві, у холодильниках, використовуваних лише на ці потреби; після роботи вимити забруднені частини тіла. Для нейтралізації пролитих кислот або лугів в хімічній лабораторії мають бути склянки із заздалегідь приготовленими нейтралізуючими розчинами (харчової соди – для кислот та оцтової кислоти – для лугів тощо). Тверді відходи, що накопичуються в

хімічній лабораторії, необхідно збирати в окрему тару і знищувати у місцях, узгоджених з органами санітарного і пожежного нагляду [3].

- Роботи, при проведенні яких можливий бурхливий перебіг процесу, підвищення тиску, перегрів скляного приладу або його пошкодження з розбризкуванням гарячих або їдких продуктів, а також роботи під вакуумом повинні виконуватися у витяжних шафах на спеціальних листах. За місцем таких робіт необхідно встановлювати прозорі запобіжні щитки. При змішуванні або розведенні речовин, що супроводжується виділенням тепла, слід користуватися термостійким скляним або фарфоровим посудом. Скляний термостійкий посуд заборонено нагрівати на відкритому вогні без термостійкої сітки; тонкостінні хімічні склянки і колби зі звичайного скла не можна нагрівати на відкритому вогні та електроплитках.

- Щоб уникнути травмування при різанні скляних трубок, складанні і розбиранні приладів та вузлів, виготовлених зі скла, необхідно дотримуватися таких заходів безпеки:

- – скляні трубки невеликого діаметру дозволяється ламати тільки після надрізання їх напилком або спеціальним ножом для різання скла та обгортання захисною тканиною;

- – скляну трубку під час вставлення в пробку не можна сильно стискати, необхідно тримати її за той кінець, на який надягається пробка;

- – колбу або інший тонкостінний посуд, в який вставляють пробку, слід тримати за горловину.

- Хімічні речовини зберігають у хімічних лабораторіях відповідно до сертифіката про термін та умови зберігання заводу-виготовлювача. Основну (запасну) кількість хімічних речовин зберігають у спеціальному ізольованому приміщенні за межами хімічної лабораторії. На кожній посудині повинна бути етикетка з точною назвою речовини та з написом, що свідчить про наявність у речовині отруйних, вогненебезпечних властивостей:

- червона – “Вогненебезпечно”,

- жовта – “Отрута”,

- зелена – “Берегти від води” або інших.
- Зберігати хімічні речовини із нерозбірливими написами та без етикеток заборонено. Речовини у склянках, що не мають етикеток, підлягають знищенню. При зберіганні вогнеі вибухонебезпечних речовин, враховуючи їх фізико-хімічні властивості, необхідно дотримуватись додаткових заходів безпеки, а саме: діетиловий (сірчаний) ефір потрібно зберігати ізольовано від інших речовин у холодному і темному місці; металічний натрій повинен зберігатись у товстостінних скляних банках з широкими шийками, які щільно закриваються проб кою під шаром сухого (без вологи) гасу, парафіну або трансформаторного мастила в ящиках з піском; гідроген пероксиду, перхлоратну кислоту (концентровану) та інші окисники не можна зберігати разом з відновниками – вугіллям, сіркою, крохмалем тощо; металічний натрій і фосфор не можна зберігати разом з бромом і йодом. Скляна посудина для зберігання легкозаймистих рідких речовин, ємність якої більша за 1 л, повинна бути розміщена у герметичному металевому футлярі .

Отже, наведені рекомендації щодо безпечного виконання робіт у хімічних лабораторіях сприятимуть ефективнішій роботі працівників, зменшенню матеріальних витрат на допомогу у разі тимчасової непрацездатності, підвищенню продуктивності праці, збереженню здоров'я та працездатності працівників. Здорові умови праці підсилюють мотивацію до точного виконання правил та безпечної поведінки працівників хімічної лабораторії.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

На сьогодні, посилення розвитку економіки нашої країни стримується значними затратами енергетичного сектору, нівелювання негативного впливу якого можливо досягти при залученні до використання дешевих енергоносіїв. До них відносять поновлювальний рослинний ресурс енергокультур, в т.ч. і проса прутоподібного, економічно-обґрунтований підхід до використання якого сприятиме зниженню енергозалежності територіальних громад за використання альтернативних джерел енергії. Що в перспективі дозволить вивільнені кошти використати на розвиток економіки регіону, та сприяти збільшенню купівельної платоспроможності населення та поліпшення його добробуту.

Ефективність функціонування агропромислового комплексу передбачає оптимізацію технологічних процесів, зменшення виробничих затрат на вирощування тих чи інших агрокультур та інші заходи здешевлення отримання кінцевого продукту. Це досягається найбільш раціональним підбором сортів до вирощування, агрозаходів до вирощування, економія насінневого матеріалу, обґрунтоване використання засобів захисту рослин, системи удобрення, та ін. [61].

Встановлено, що погодні умови, агротехнічні заходи вирощування, сортові особливості, а також структура врожаю суттєво впливають на формування елементів насінневої продуктивності проса прутоподібного [62].

Для отримання високої врожайності біомаси або насіння, необхідно забезпечити найбільш оптимальне поєднання всіх елементів структури врожайності енергетичних культур, зокрема, проса прутоподібного, що досягається вдосконаленням елементів сортової технології [63].

Значна кількість зарубіжних та українських наукових праць, що обґрунтовують способам виробництва агробіомаси та фітомаси енергетичних

культур були присвячені вивчення обраного питання [64, 65]. Існує дуже мало інформації про енергетичне та економічне обґрунтування вирощування проса прутоподібного. Лише в окремих публікаціях [66, 67, 68] вивчається ефективність вирощування сортів проса прутоподібного для біопаливних цілей, але вони містять мало інформації про ефективність та рентабельність виробництва насіння.

У зв'язку із чим, нами заповнена прогалина та визначена економічна ефективність вирощування сортозразків проса прутоподібного на насіння та обґрунтовано результативність окремих елементів технології насінневого вирощування культури.

Економічна оцінка ефективності вирощування сортів проса прутоподібного на насіння у виробничих умовах передбачає порівняльну оцінку за основними економічними показниками.

Вартість виробництва вирощування проса прутоподібного (C_v , грн./т) включає всі витрати, відрахування, виплати та амортизація.

Загальна вартість вирощування насіння проса прутоподібного (C_p , грн./т) – це сума виробничої собівартості та додаткових витрат.

Дохід від продажу насіння проса прутоподібного (V_p , грн.) визначається шляхом множення обсягу продажу на ціну насіння.

Валовий прибуток від продажу насіння проса прутоподібного (P_p , грн.) визначається діленням доходу від продажу на загальну вартість вирощування насіння.

Рівень рентабельності виробництва (R , %) – це відношення валового прибутку від реалізації до загальної вартості вирощування насіння проса прутоподібного, виражене у відсотках.

Користуючись відповідними формулами авторської методики, ми здійснили розрахунок показників економічної ефективності виробництва насіння усіх сортів проса прутоподібного.

За результатами виробничої перевірки проведеної у 2019 році визначено, що з-поміж сортозразків проса прутоподібного, що вивчали

найбільшу врожайність насіння формують: Лінія 13017 та сорт Зоряне і сортозразок Кейв-ін-рок, відповідно – 0,61; 0,53 і 0,50 т/га (табл. 6.1).

Таблиця 6.1

**Економічна ефективність вирощування сортозразків проса
прутоподібного у виробництві, 2019 р.**

Сортозразок	У, т/га	С _в , грн/т	С _п , грн/т	В _р , грн/га	П _р , грн/га	Р _{вир} , %
Зоряне	0,53	6560,2	7203,1	20166,5	13590,8	180,0
Кейв-ін-рок	0,50	6540,0	7187,5	19025,0	14374,9	164,7
Морозко	0,42	6458,3	7117,0	15981,0	16945,3	124,5
Лінія 1307	0,61	6558,3	7273,2	23210,5	11923,2	219,1

**Примітка:* С_в – виробнича собівартість, грн/т; С_п – повна собівартість, грн/т; В_р – виручка від реалізації насіння, грн; П_р – валовий прибуток від реалізації насіння, грн; Р – рівень рентабельності виробництва, %.

Повна собівартість виробництва продукції варіювала від 7117,0 грн/га (сорт Морозко) до 7273,2 грн/га (Лінія 1307), валовий прибуток від реалізації насіння – від 13590,8 грн/га (сорт Зоряне) до 16945,3 грн/га (сорт Морозко).

Рівень рентабельності виробництва насіння сортозразків проса прутоподібного виявився найбільшим у Лінії 1307, що перевищило сорт-стандарт Зоряне на 39,1 %, сортозразок Кейв-ін-рок – на 54,5 % та сорт Морозко – на 94,6 %.

Аналіз економічної ефективності виробництва насіння проса прутоподібного у 2020 році доводить, що порівняно із іншими сортами, рівень рентабельності найбільшим виявився у сорту Зоряне і Лінії 1307 (відповідно 0,72 і 0,73 т/га) – ці показники були значно вищими, ніж для сортозразка Кейв-ін-рок і сорту Морозко (відповідно 0,61 і 0,59 т/га). Що свідчить про значний вплив сортових властивостей на рівень врожайності та показники економічної ефективності (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

**Економічна ефективність вирощування сортозразків проса
прутоподібного у виробництві, 2020 р.**

Сортозразок	У, т/га	С _в , грн/т	С _п , грн/т	В _р , грн/га	П _р , грн/га	Р _{вир} , %
Зоряне	0,72	6510,0	7209,1	25959,6	10012,6	260,1
Кейв-ін-рок	0,61	6608,0	7219,1	21993,6	11834,6	204,7
Морозко	0,59	6571,0	7225,5	21272,5	12246,6	194,4
Лінія 1307	0,73	6650,0	7517,1	26320,2	10297,4	250,1

**Примітка:* У – урожайність насіння, т/га; С_в – виробнича собівартість, грн/т; С_п – повна собівартість, грн/т; В_р – виручка від реалізації насіння, грн; П_р – валовий прибуток від реалізації насіння, грн; Р – рівень рентабельності виробництва, %.

В умовах двох років дослідження (2019 і 2020 рр.) найбільш рентабельним виявилось вирощування сорту Зоряне (відповідно років 180,0 і 260,1 %) та Лінії 1307 (219,1 і 250,1 %), менш рентабельним, але на високому рівні – сортозразок Кейв-ін-рок (164,7 і 204,7 %) та сорт Морозко (124,5 і 194,4 %).

Отже, з-поміж досліджуваних сортів проса пруроподібного найбільшу економічну ефективність виробництва насіння в умовах двох років виробничих випробувань забезпечують сорт Зоряне, сортозразок Кейв-ін-рок та Лінія 1307.

На сьогодні для ефективної реалізації політики енергозбереження та енергоефективності сільського господарства необхідно підтримувати стійкий розвиток держави в даному напрямку та підвищувати ефективність використання паливно-енергетичних ресурсів. Визначено, що сільське господарство є не тільки споживачем енергії, але й її генератором [69]. В цьому плані додатковий енергетичну ефективність матимуть енергокультури, потенціал яких вивчається у нашій публікації [70].

Для досягнення ефективності використання поновлюваної рослинної сировини необхідне гармонійне поєднання державної політики, інноваційних розробок та фінансового стимулювання широкого спектру агротехнологічної

складової вирощування енергетичних культур, здійснення технічної та технологічної модернізації логістики виробництва, транспортування енергії до кінцевого споживача. Саме тому, для забезпечення стійкого розвитку енергетичного сектору України доцільним є виробництво біомаси швидкорослих, спеціально вирощених рослин на маргінальних землях – енергетичних культур. До найбільш продуктивних культур з високим адаптивним потенціалом, котрі використовують як сировину для виробництва біопалива відносять: просо прутоподібне, міскантус, багаторічне сорго та ряд інших енергетичних культур [71]. Енергетична ефективність виробництва насіння проса прутоподібного в Україні висвітлено у публікації [72].

За результатами виробничої перевірки в умовах центральної частини Лісостепу України встановлено, що в умовах 2019 року врожайність насіння досліджуваного сортименту проса прутоподібного варіювала від 0,42 до 0,61 т/га, а в умовах 2020 року – від 0,59 до 0,72 т/га.

Енергетична оцінка виробництва насіння проса прутоподібного у 2019 році свідчить, що порівняно із іншими сортами, найбільш ефективним виявилось виробництво насіння сорту Зоряне та Лінії 1307 (табл. 6.3-6.4).

Таблиця 6.3

Енергетична ефективність виробництва насіння сортозразків проса прутоподібного, 2019 р.

Сортозразок	У, т/га	Е _н , ГДж/га	Е _с , ГДж/га	К _{еє}
Зоряне	0,53	434,9	146,9	3,0
Кейв-ін-рок	0,50	410,3	144,5	2,8
Морозко	0,42	344,6	145,7	2,4
Лінія 1307	0,61	500,5	146,9	3,4

**Примітка:* У – урожайність насіння, т/га; Е_н – сукупна енергія, накопичена в насінні, ГДж/га; Е_с – сукупні енергетичні витрати на виробництво насіння, ГДж/га; К_{еє} – коефіцієнт енергетичної ефективності.

Критерієм енергетичної доцільності виробництва сортозразків проса

прутоподібного є накопичення сукупної енергії в продукції у кількості, що дорівнює або перевищує рівень сукупних енергетичних витрат на виробництво. Порогове значення енергетичної доцільності досягається, коли коефіцієнт енергетичної ефективності дорівнює або перевищує 1,0. В умовах 2019 року коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва насіння проса прутоподібного, був на рівні, або перевищив 3,0 – сорти Зоряне та Лінії 1307. Для умов 2020 року всі досліджувані сорти проса прутоподібного мали коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва насіння більше 3,0, що характеризує середню ефективність (табл. 6.4).

Сукупна енергія, накопичена в насіння та енергетичні витрати на вирощування сортів проса прутоподібного виявились найбільшими у сорту Зоряне та Лінії 1307.

Таблиця 6.4

Енергетична ефективність виробництва насіння сортозразківпроса прутоподібного, 2020 р.

Сортозразок	У, т/га	Е _н , ГДж/га	Е _с , ГДж/га	К _е
Зоряне	0,72	590,8	163,7	3,6
Кейв-ін-рок	0,61	500,5	159,3	3,1
Морозко	0,59	484,1	155,9	3,1
Лінія 1307	0,73	599,0	164,6	3,6

**Примітка:* У – урожайність насіння, т/га; Е_н – сукупна енергія, накопичена в насінні, ГДж/га; Е_с – сукупні енергетичні витрати на виробництво насіння, ГДж/га; К_е – коефіцієнт енергетичної ефективності.

З-поміж досліджуваного сортименту проса прутоподібного найбільший коефіцієнт енергетичної ефективності отримали за вирощування сорту Зоряне (К_е = 3,0–3,6) та Лінії 1307 (К_е = 3,4–3,6), менш ефективним, але на високому рівні він виявився у сортозразка Кейв-ін-рок (К_е = 2,8–3,1) та сорту Морозко (К_е = 2,4–3,1).

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Культура, глибина шару ґрунту, рік та вік вегетації визначають 60 % варіювання депонування карбону в ґрунті. Глибина шару ґрунту є найбільш значним фактором, який здатний пояснити 53.4 % варіювання депонування карбону. Зі зростанням глибини рівень депонування карбону знижується, що можна зв'язати зі зміною щільності кореневих систем рослин.
2. Культура є статистично вірогідним предиктором варіювання депонування карбону та здатна пояснити 8.5 % варіювання цього показника. Ґрунт під цілинною рослинністю характеризується найменшим рівнем вмісту вуглецю (у середньому становить 1.87 ± 0.017 %). Під світчграсом депонування карбону в ґрунті зростає на 7.1 % порівняно з контролем, а під міскантусом зростає на 15.4 % порівняно з контролем.
3. Міжрічне варіювання вмісту вуглецю в ґрунті пояснює 1.2 % мінливості цього показника. Патерни зміни вмісту вуглецю в ґрунті, які пов'язані з астрономічним роком, не залежать від вегетаційного віку. Вміст вуглецю в ґрунті зростає разом з віком вегетації плантацій міскантусу.
4. Насадження світчграсу перевищує контрольну продуктивність у 14.2 рази, а міскантус – у 18.9 разів. Відповідно, міскантус є більш продуктивним за світчграсу в 1.3 рази. Культура, рік та вік вегетації визначають 60 % варіювання надземної продукції енергетичних культур. Відмінності у фітомасі між роками для усіх типів рослинного покриву визначаються водним режимом, чутливим індикатором якого є швидкість зростання кумулятивних опадів у процесі активної вегетації рослин в період з квітня по кінець червня. З віком рослинного угруповання його фітомаса зростає. Характер відгуку енергетичних культур на вплив факторів середовища є подібним між різними культурами.

Результати досліджень формують теоретичну основу для розрахунку і обліку балансу парникових газів Національним центром обліку викидів парникових газів в Україні, під час проведення інвентаризації викидів парникових газів пов'язаних зі зміною землекористування. Також

рекомендовано під час висвітлення кліматичних питань під час державного планування та при виконанні стратегічної екологічної оцінки відповідно до Закону України «Про стратегічну екологічну оцінку». Одержані результати переконливо вказують, що насадження енергетичних культур на маргінальних землях виконують екосистемні сервіси, які зводяться не тільки для вирішення енергетичних проблем, але є важливим інструментом депонування оксиду вуглецю в ґрунті. Створення енергетичних культур є одним з шляхів вирішення проблеми зростання концентрації оксиду вуглецю в атмосфері, який є найбільш придатним в промислових регіонах України з високою площею маргінальних земель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ferchaud, F.; Vitte, G.; Mary, B. Changes in soil carbon stocks under perennial and annual bioenergy crops. *GCB Bioenergy* **2016**, 8, 290–306.
2. Mi, J.; Liu, W.; Yang, W.; Yan, J.; Li, J.; Sang, T. Carbon sequestration by *Miscanthus* energy crops plantations in a broad range semi-arid marginal land in China. *Sci. Total Environ.* **2014**, 496, 373–380.
3. Zatta, A.; Clifton-Brown, J.; Robson, P.; Hastings, A.; Monti, A. Land use change from C3 grassland to C4 *Miscanthus*: Effects on soil carbon content and estimated mitigation benefit after six years. *GCB Bioenergy* **2014**, 6, 360–370.
6. Zinchenko A.V. 2017. Model of soil organic matter humification and mineralization and its application for calculation of peatland ecosystems carbon budget characteristics // Environmental dynamics and global climate change. V. 8. No. 2. P. 3-17
7. Халаїм Олександра Олегівна Оцінка потоків CO₂ у модельних степових екосистемах за різної кількості опадів// Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук КИЇВ – 2017
http://dea.edu.ua/img/source/Diser/disert_Khalaim_2017.pdf
8. Олександр Цилюрик Саморегуляція ґрунтової родючості чорноземів [Електронний ресурс]/ О.Цилюрик/Інформаційно-аналітична газета «Агробізнес Сьогодні». - ТОВ «АГРАРНЕ ВИДАВНИЦТВО» --27 квітня 2017- Режим доступу - <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/8847-samorehuliatsiia-gruntovoi-rodichosti-chornozemiv.html>].
9. Анішин Л. А. Утилізація вуглекислого газу за умов вирощування зернових культур з використанням біостимуляторів росту / Л. А. Анішин, З. М. Грицаєнко, С. П. Пономаренко, І. П. Григорюк, О. І. Серга // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Біологія, біотехнологія, екологія. - 2014. - Вип. 204. - С. 56-65. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_biol_2014_204_10

-
10. Олександр Цилюрик Саморегуляція ґрунтової родючості чорноземів [Електронний ресурс]/ О.Цилюрик/**Інформаційно-аналітична газета «Агробізнес Сьогодні»**. - ТОВ «АГРАРНЕ ВИДАВНИЦТВО» --27 квітня 2017- Режим доступу - <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/8847-samorehuliatsiia-gruntovoi-rodichosti-chornozemiv.html>].
 11. Снітинський В. В. Гумусний стан та емісія діоксиду вуглецю в агроєкосистемах / В. В. Снітинський, А. Й. Габриєль, Ю. М. Оліфір, О. М. Германович // Агроєкологічний журнал. - 2015. - № 1. - С. 53-59. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrog_2015_1_7.
 12. Величко В. А. Гумусний стан чорноземів типових лівобережного Лісостепу та відтворення їхньої родючості / В. А. Величко, О. В. Демиденко, Ю. І. Кривда // Вісник аграрної науки. – 2013. – № 7. – С. 20–24.
 13. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. - Устойчивость органических соединений почвы и эмиссия парниковых газов в атмосферу//ПОЧВОВЕДЕНИЕ. Москва Издательство “Наука” — 1998— № 7 - С.783-794.
 14. Трускавецький Р.С. Порушення газорегуляторних функцій гігроморфних ґрунтів під впливом дренажу та обробітку / Р.С. Трускавецький, В.В. Шимель // Вісник ХНАУ: Ґрунтознавство. — 2001. — № 3. — С. 152–156.
 - 16 Ingram, JSI, Fernandes, ECM 2001, 'Managing carbon sequestration in soils: concepts and terminology', *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 87, pp. 111–117, viewed 15 October 2018, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880901001451>
 17. Roozeboom K. L., Wang D., McGowan A. R., Propheter J. L., Staggenborg S. A., Rice C. W. Long-term Biomass and Potential Ethanol Yields of Annual and Perennial Biofuel Crops. *Agron J* 2019;111:74–83. <https://doi.org/10.2134/agronj2018.03.0172>.
 18. Laurent A, Pelzer E, Loyce C, Makowski D. Ranking yields of energy crops: A meta-analysis using direct and indirect comparisons. *Renew Sustain Energy*

-
- Rev 2015;46:41–50. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.023>.
19. Mantineo M., D'Agosta G. M., Copani V., Patanè C, Cosentino S. L. Biomass yield and energy balance of three perennial crops for energy use in the semi-arid Mediterranean environment. *F Crop Res* 2009;114:204–13. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.07.020>.
 20. Yuan J. S., Tiller K. H., Al-Ahmad H., Stewart N. R., Stewart C. N. Plants to power: bioenergy to fuel the future. *Trends Plant Sci* 2008;13:421–9. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.06.001>.
 21. Kulyk M.I., Galytska M.A., Samoylik M.S., Zhornyk I.I. Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. *Agrology* 2019;2:65–73. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.14020>.
 22. Baxter X.C., Darvell L.I., Jones J.M., Barraclough T., Yates N.E., Shield I. Miscanthus combustion properties and variations with Miscanthus agronomy. *Fuel* 2014;117:851–69. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.09.003>.
 23. Carpita N. C., Sage R.F. Plants and bioenergy. *J Exp Bot* 2015;66:4093–5. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv311>.
 24. Mehmood M.A., Ibrahim M., Rashid U., Nawaz M., Ali S., Hussain A., et al. Biomass production for bioenergy using marginal lands. *Sustain Prod Consum* 2017;9:3–21. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003>.
 25. Курило В. Л., Рахметов Д. Б., Кулик М.І . Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. *Вісник Полтавської Державної Аграрної Академії* 2018;11–7. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.01.01>.
 26. Pidlisnyuk V., Stefanovska T., Lewis E.E., Erickson L.E., Davis L.C. Miscanthus as a Productive Biofuel Crop for Phytoremediation. *CRC Crit Rev Plant Sci* 2014;33:1–19. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.847616>.
 27. Lesur-Dumoulin C., Lorin M., Bazot M., Jeuffroy M. H., Loyce C. Analysis of young *Miscanthus × giganteus* yield variability: A survey of farmers' fields in east central France. *GCB Bioenergy* 2016;8:122–35.

-
- <https://doi.org/10.1111/gcbb.12247>.
28. Xue S., Lewandowski I., Wang X., Yi Z. Assessment of the production potentials of *Miscanthus* on marginal land in China. *Renew Sustain Energy Rev*
 29. Kiesel A., Wagner M., Lewandowski I. Environmental performance of miscanthus, switchgrass and maize: Can C4 perennials increase the sustainability of biogas production? *Sustain* 2017;9. <https://doi.org/10.3390/su9010005>.
 30. Lemus R., Lal R. Bioenergy crops and carbon sequestration. *CRC Crit Rev Plant Sci* 2005;24:1–21. <https://doi.org/10.1080/07352680590910393>.
 31. Hannah L. The Climate System and Climate Change. *Clim. Chang. Biol.*, Elsevier; 2015, p. 13–53. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420218-4.00002-0>.
 32. Potapenko O. V. Assessment of phytocoenological diversity of electrical substations territories. *Acta Biol Sib* 2018;4:6. <https://doi.org/10.14258/abs.v4i3.4365>.
 33. Potapenko O., Kunah O.M., Fedushko M.P. The effect of technological oil spill in soil within electrical generation substations, analysed by ecological regime in the context of relief properties. *Biosyst Divers* 2019;27:43–50. <https://doi.org/10.15421/011907>.
 34. Meers E., Van Slycken S., Adriaensen K., Ruttens A., Vangronsveld J., Du Laing G., et al. The use of bio-energy crops (*Zea mays*) for ‘phytoattenuation’ of heavy metals on moderately contaminated soils: A field experiment. *Chemosphere* 2010;78:35–41. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.015>.
 35. Meers E., Vandecasteele B., Ruttens A., Vangronsveld J., Tack FMG. Potential of five willow species (*Salix* spp.) for phytoextraction of heavy metals. *Environ Exp Bot* 2007;60:57–68. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2006.06.008>.
 36. de Abreu C.A., Coscione A.R., Pires A.M., Paz-Ferreiro J. Phytoremediation of a soil contaminated by heavy metals and boron using castor oil plants and

-
- organic matter amendments. *J Geochemical Explor* 2012;123:3–7. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.04.013>.
37. Pandey A., Mishra S.K., Gautam A.K. Soil Erosion Modeling Using Satellite Rainfall Estimates. *J Water Resour Hydraul Eng* 2015;4:318–25. <https://doi.org/10.5963/jwrhe0404002>.
38. Witters N., Mendelsohn R. O., Van Slycken S , Weyens N., Schreurs E., Meers E., et al. Phytoremediation, a sustainable remediation technology? Conclusions from a case study. I: Energy production and carbon dioxide abatement. *Biomass and Bioenergy* 2012;39:454–69. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.08.016>.
39. Quinn Ld., Allen Dj., Stewart Jr. Invasiveness potential of *Miscanthus sinensis*: implications for bioenergy production in the United States. *GCB Bioenergy* 2010;2:310–20. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01062.x>.
40. Técher D., Laval-Gilly P., Henry S., Bennasroune A., Formanek P., Martinez-Chois C., et al. Contribution of *Miscanthus x giganteus* root exudates to the biostimulation of PAH degradation: An in vitro study. *Sci Total Environ* 2011;409:4489–95. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.049>.
41. Hromádka L., Vranová V., Techer D., Laval-Gilly P., Rejšek K., Formánek P., et al. Composition of root exudates of *Miscanthus × Giganteus* Greef et Deu. *Acta Univ Agric Silvic Mendelianae Brun* 2014;58:71–6. <https://doi.org/10.11118/actaun201058010071>.
42. Bellamy P. E., Croxton P. J., Heard M. S., Hinsley S. A., Hulmes L., Hulmes S., et al. The impact of growing miscanthus for biomass on farmland bird populations. *Biomass and Bioenergy* 2009;33:191–9. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.07.001>.
43. Boehmel C., Lewandowski I., Claupein W. Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agric Syst* 2008;96:224–36. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.08.004>.
44. Zadorozhnaya G. A., Andrusevych K. V., Zhukov O.V. Soil heterogeneity

-
- after recultivation: Ecological aspect. *Folia Oecologica* 2018;45:46–52. <https://doi.org/10.2478/foecol-2018-0005>.
45. Chen M., Xu P., Zeng G., Yang C., Huang D., Zhang J. Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: Applications, microbes and future research needs. *Biotechnol Adv* 2015;33:745–55. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>.
46. Smith S. R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. *Environ Int* 2009;35:142–56. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2008.06.009>.
47. Korchagina K. V., Smagin A. V., Reshetina T. V. Assessing the technogenic contamination of urban soils from the profile distribution of heavy metals and the soil bulk density. *Eurasian Soil Sci* 2014;47:824–33. <https://doi.org/10.1134/S1064229314080080>.
48. Shamilishvili G., Abakumov E. Organic and inorganic contaminants in Urban Soils of St. Petersburg (Russia). *Springer Geogr.*, Springer; 2019, p. 51–7. https://doi.org/10.1007/978-3-319-89602-1_7.
49. Diami S. M., Kusin F. M., Madzin Z. Potential ecological and human health risks of heavy metals in surface soils associated with iron ore mining in Pahang, Malaysia. *Environ Sci Pollut Res* 2016;23:21086–97. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7314-9>.
50. Wall D. H., Nielsen U. N., Six J. Soil biodiversity and human health. *Nature* 2015;528:69–76. <https://doi.org/10.1038/nature15744>.
51. Kao Y.C., Rogers M. W., Bunnell D.B, Cowx I. G, Qian S. S., Anneville O., et al. Effects of climate and land-use changes on fish catches across lakes at a global scale. *Nat Commun* 2020;11:1–14. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14624-2>.
52. Nsanganwimana F., Pourrut B., Mench M., Douay F. Suitability of *Miscanthus* species for managing inorganic and organic contaminated land and

-
- restoring ecosystem services. A review. *J Environ Manage* 2014;143:123–34. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.04.027>.
53. Nsanganwimana F., Pourrut B., Waterlot C., Louvel B., Bidar G., Labidi S., et al. Metal accumulation and shoot yield of *Miscanthus × giganteus* growing in contaminated agricultural soils: Insights into agronomic practices. *Agric Ecosyst Environ* 2015;213:61–71. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.023>.
54. Flathman P.E., Lanza G.R. Phytoremediation: Current Views on an Emerging Green Technology. *J Soil Contam* 1998;7:415–32. <https://doi.org/10.1080/10588339891334438>.
55. Pandey V.C., Bajpai O., Singh N. Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renew Sustain Energy Rev* 2016;54:58–73. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.078>.
56. Nurzhanova A., Pidlisnyuk V., Abit K., Nurzhanov C., Kenessov B., Stefanovska T., et al. Comparative assessment of using *miscanthus × giganteus* for remediation of soils contaminated by heavy metals: A case of military and mining sites. *Environ Sci Pollut Res* 2019;26:13320–33. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04707-z>.
57. Wuana R.A, Okieimen F.E. Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecol* 2011;2011:1–20. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>.
58. Willison Jh.M., Li R., Yuan X. Conservation and ecofriendly utilization of wetlands associated with the Three Gorges Reservoir. *Environ Sci Pollut Res* 2013;20:6907–16. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1438-3>.
59. Rayu S., Karpouzas D.G., Singh B.K. Emerging technologies in bioremediation: Constraints and opportunities. *Biodegradation* 2012;23:917–26. <https://doi.org/10.1007/s10532-012-9576-3>.
60. Gomes H.I. Phytoremediation for bioenergy: challenges and opportunities. *Environ Technol Rev* 2012;1:59–66. <https://doi.org/10.1080/09593330.2012.696715>.

-
61. Cao A., Cappai G., Carucci A., Lai T. Heavy metal bioavailability and chelate mobilization efficiency in an assisted phytoextraction process. *Environ Geochem Health* 2008;30:115–9. <https://doi.org/10.1007/s10653-008-9136-2>.
 62. Pidlisnyuk V., Stefanovska T., Lewis E.E., Erickson L.E., Davis L.C. *Miscanthus* as a Productive Biofuel Crop for Phytoremediation. *CRC Crit Rev Plant Sci* 2014;33:1–19. <https://doi.org/10.1080/07352689.2014.847616>.
 63. Pidlisnyuk V. V., Erickson L.E., Trögl J., Shapoval P.Y., Popelka J., Davis L.C., et al. Metals uptake behaviour in *Miscanthus x giganteus* plant during growth at the contaminated soil from the military site in Sliac, Slovakia. *Polish J Chem Technol* 2018;20:1–7. <https://doi.org/10.2478/pjct-2018-0016>.
 64. Pidlisnyuk V., Erickson L., Stefanovska T., Popelka J., Hettiarachchi G., Davis L., et al. Potential phytomanagement of military polluted sites and biomass production using biofuel crop *miscanthus x giganteus*. *Environ Pollut* 2019;249:330–7. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.018>.
 65. Бомба М. Я. Землеробство з основами ґрунтознавства, агрохімії та агроекології. Київ: Урожай; 2003.
 66. Маринич А. М., Пащенко В. М., Шищенко П. Г. Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование. Київ: Наукова думка; 1985.
 67. Диченко О. Ю. Екологічні закономірності динаміки популяцій шкідників буряків цукрових у центральному лісостепу України : дис. канд. с.–г. наук : 03.00.16. Полтава: 2015.
 68. Папка О.С. Ієрархічний аналіз ефективності систем обробітку ґрунту як агротехнологічного методу знищення бур'янів та ваточника сирійського (*Asclepias syriaca* L.). Вісник Полтавської Державної Аграрної Академії 2016:98–106. <https://doi.org/10.31210/visnyk2016.1-2.20>.
 69. Булава Л. М. Географічний атлас: Полтавська область. Моя мала Батьківщина. Київ: Мапа; 2004.
 70. Диченко О. Ю., Писаренко П. В., Кунах О. М., Жуков О. В. Просторова

агроекологія як основа прогнозу чисельності шкідників. Дніпропетровськ: ДНУ; 2015. <https://doi.org/DOI: 10.13140/RG.2.1.1014.4485>.

71. Пономаренко С. В. Динаміка урожайності сільськогосподарських культур та агроекологічне зонування території Полтавської області. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю. Полтава: Полтавська державна аграрна академія Міністерства освіти і науки України; 2018.
72. Писаренко П. В. Сучасний стан родючості ґрунтів полтавської області 2012.
73. Писаренко П. В., Диченко ОЮ. Одночасність (синхронність) зміни динаміки шкідників буряків цукрових у Центральному Лісостепу України. Вісник Полтавської Державної Аграрної Академії 2014;3:33–35.
74. ДСТУ ГОСТ 17.4.3.01:2019 . «Охорона довкілля. Якість ґрунту. Загальні вимоги до відбирання проб (ГОСТ 17.4.3.01-2017, ІДТ)» 2019.
75. ДСТУ ГОСТ 17.4.4.02:2019 «Охорона довкілля. Якість ґрунту. Методи відбирання та підготування проб для хімічного, бактеріологічного, гельмінтологічного аналізу (ГОСТ 17.4.4.02-2017, ІДТ)» 2019