

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра екології та природозахисних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

зі спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»

Тема роботи: «Енерготехнологія перетворення біомаси з виробництвом
біочару для ремедіації ґрунтів»

Виконав:
студент Гаврилюк Володимир
Борисович

Керівник:
доцент Черниш Єлізавета Юріївна

Залікова книжка
№ 19510015

Підпис: _____
дата, підпис

Підпис: _____

Консультант з охорони праці:
доцент Васькін Р.А.

Підпис: _____
дата, підпис

Захищена з оцінкою

оцінка, дата

Секретар ЕК
старший викладач Батальцев Є.В.

Суми 2023

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього
середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____

“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Студентові Гаврилюку Володимиру Борисовичу

Група ТС-91/1

1. Тема кваліфікаційної роботи: Енерготехнологія перетворення біомаси з виробництвом біочару для ремедіації ґрунтів.
2. Вихідні дані: бібліографічні дані наукометричної бази даних Scopus, технічні звіти, статистичні дані Державної служби статистики України, вітчизняні та закордонні патенти бази.
3. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: екологічні проблеми ґрунтів; методи регенерації ґрунтів, їх переваги та недоліки; види енергетичної біомаси за походженням; методи перетворення біомаси; загальна схема перетворення біомаси з метою отримання енергії; схеми отримання біочару; вплив біочару на відновлення родючості ґрунтів.

4. Етапи виконання кваліфікаційної роботи:

№	Етапи і розділи проектування	ТИЖНІ					
		1	2	3	4	5	6
1	Літературний огляд, написання розділу 1	+	+				
2	Аналіз проблеми, написання розділ 2			+			
3	Оброблення результатів, написання розділу 3				+		
4	Написання розділу 4					+	
5	Оформлення роботи						+

Дата видачі завдання:

30.03.2023

Керівник:

доцент, д.т.н. Черниш Єлизавета Юріївна

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи бакалавра. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилення, який містить 24 найменування. Загальний обсяг бакалаврської роботи становить 52 сторінки, у тому числі 9 рисунків, перелік джерел посилення становить 4 сторінки.

Мета роботи – розроблення енерготехнології перетворення біомаси з виробництвом біочару для ремедіації ґрунтів.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено та виконано такі завдання:

- проаналізувати стан забруднення земель України;
- проаналізувати сучасні методи переробки біомаси з виробництвом біочару та вибрати оптимальний для даного дослідження;
- дослідити технології перетворення біомаси в біочар з використанням різних видів сировини та технологій, що використовуються в Україні та в світі;
- визначити вплив біочару на фізико-хімічні властивості ґрунту та його здатність до ремедіації забруднених ділянок;
- проаналізувати нормативні акти та вимоги до якості біочару.

Об'єкт дослідження – екологічна проблематика забруднення ґрунтів.

Предмет дослідження – процес піролізу біомаси з отриманням біочару для ремедіації забруднених ґрунтів.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано різні фактори виробництва та переваги впровадження в сільськогосподарську галузь в якості органічних добрив та регенерантів ґрунту. Виконано аналіз впливу біочару на стан ґрунтів, нормативних документів, щодо класифікації та нормування, а також цикл вироблення біочару. Запропоновані схеми виробництва та використання біочару за для створення оптимального та раціонального агрокомплексу в Україні. Розроблено схеми виробництва та використання біочару для створення замкнутої зеленого системи вирощування та споживання рослинної продукції з покращення стану землі на якій, вирощуються рослинні культури.

Ключові слова: БІОЧАР, БІОЕНЕРГЕТИКА, ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ, РЕМЕДІАЦІЯ ГРУНТІВ, МЕТОДИ ПЕРЕТВОРЕННЯ БІОМАСИ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМАТИКА РЕМЕДІАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ.....	7
1.1 ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ТА ЗБІДНЕННЯ ҐРУНТІВ В УКРАЇНІ.....	9
1.2 Методи регенерації ґрунтів	12
РОЗДІЛ 2 БІОЕНЕРГЕТИКА ТА ЇЇ ВІДХОДИ - ЯК ЕФЕКТИВНІ ВІДНОВЛЮВАЧІ ҐРУНТІВ	16
2.1 Біоенергетика. Види біомаси. Цикл виробництва.....	17
2.2 Технології перетворення біомаси. Відходи виробництва.....	18
2.3 ПОНЯТТЯ БІОЧАР ТА ПРОЦЕС ЙОГО ОТРИМАННЯ.....	22
2.4 Європейські вимоги до якості та сертифікації біочару	25
РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ БІОЧАРУ ДЛЯ РЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ.....	28
3.1 Ефективність біочару в якості адсорбенту забруднюючих речовин	30
3.2 Ефект впливу біочару на родючість ґрунтів	34
3.3 Вуглецевий цикл з використанням біочару.....	37
3.3 Повний цикл отримання та використання біочару	39
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ..	43
ВИСНОВОК.....	47
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	49

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.
Підп. і дата	Підп. і дата
Інв.№поплд.	Інв.№поплд.

ТС 19510015

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата				
		Розроб. Гаврилюк			Енерготехнологія перетворення біомаси з виробництвом біочару для ремедіації ґрунтів.	Літ.	Аркуш	Аркушів
		Перев. Черниш				4	52	
		Н.Контр Батальцев				СумДУ, ф-т ТеСЕТ		
		Затв. Пляцук				гр. ТС-91/1		

ВСТУП

Протягом останніх десятиліть спостерігається велике зростання концентрації важких металів (ВМ) та їх сполук в елементах довкілля (біосфера, атмосфера, літосфера та гідросфера) через активний розвиток промисловості.

В зв'язку з цим, темпи надходження важких металів у агрокомплекси значно перевищують природну властивість захисних властивостей (буферність). Це спричиняє загальне зниження якості продукції та знижає показники врожайності у сферах тваринництва та рослинництва.

Площі земельних угідь в яких ГДК по важких металах у ґрунтах перевищує норми постійно збільшуються, що створює проблему надзвичайно загрозового характеру та потребує певних мір для їх вирішення. До таких методів належить ремедіація ґрунтів.

При створенні та використанні методів та технології ремедіації ґрунтів необхідно звертати увагу на загальну комплексність територій, а також на масштаби забруднення землі, можливість повторного забруднення та створити умови для ефективного відновлення ґрунту до максимально приближеного натурального стану.

Актуальність теми дослідження. Проблема екологічної безпеки та збереження природних ресурсів стає все більш актуальною у світі. Одним з найважливіших завдань є вирішення проблеми забруднення ґрунтів токсичними речовинами та нестачі родючих ґрунтів для сільськогосподарського виробництва. Виробництво біочару з біомаси є одним з ефективних способів вирішення цих проблем, через велику концентрацію поживних речовин та сорбційні здатності біочару.

Мета дослідження: розроблення енерготехнології перетворення біомаси з виробництвом біочару для ремедіації ґрунтів.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 19510015

Арк

5

Об'єкт дослідження – екологічна проблематика забруднення ґрунтів.

Предмет дослідження – процес піролізу біомаси з отриманням біочару для ремедіації забруднених ґрунтів.

Метод дослідження: аналіз наукової літератури та законодавчої бази щодо використання біомаси для виробництва біочару та його застосування для ремедіації ґрунтів.

Завдання дипломної роботи:

- проаналізувати сучасні методи переробки біомаси з виробництвом біочару та вибрати оптимальний для даного дослідження;
- дослідити технології перетворення біомаси в біочар з використанням різних видів сировини та технологій, що використовуються в Україні та в світі;
- визначити вплив біочару на фізико-хімічні властивості ґрунту та його здатність до ремедіації забруднених ділянок;
- проаналізувати нормативні акти та вимоги до якості біочару.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата						
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510015					Арк
										6

ґрунтів, до яких належать: вітрова ерозія, берегова абразія, підтоплення, посухи та суховії (рис 1.1) [3, 4].



Рисунок 1.1 – Геоecологічні проблеми ґрунтів

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510015

Арк

8

Найбільш руйнівним природним явищем для ґрунтів є вітрова та водна ерозія. Для України, та в особливості для її східних та північних територій, характерні наступні різновиди ерозійних процесів:

- площинна або поверхнева ерозія, під час такого типу ерозії відбувається змивання верхніх шарів ґрунтів;
- струмкова, або лінійна ерозія, за допомоги напору потоку води розмиває ґрунт та утворює дірки (ритвини, промоїни);
- яружна ерозія – це крайня стадія лінійної ерозії.

Як результат процесу водної ерозії, розмивається родючий шар ґрунтів (гумус), також окрім руйнування верхніх шарів відбувається: випаровування талих вод, які підтримують водний баланс ґрунту та особливо необхідні в посушливих та жарких регіонах; розчленування полів; замулення ставків, річок зрошувальних та дренажних систем [2, 4].

1.1 Проблеми забруднення та збіднення ґрунтів в Україні

В Україні площа уражених ділянок землі зростають через антропогенні фактори. До таких факторів належать:

- забруднення земель виробничими та сільськогосподарськими відходами;
- не раціональне та надмірне вживання органічних добрив та засобів захисту рослин;
- забруднення земель важкими металами та інших хімічними речовинами від локальних підприємств;
- військові дії, зокрема розрив снарядів, витік забруднювальних і небезпечних речовин із пошкоджених ємностей і відходів унаслідок руйнування гребель полів фільтрації, ураження очисних або гідротехнічних споруд.

Інв. № поодл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015				Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

Відповідно до даних наведених Міністерством екології та природних ресурсів України, загальна територія забруднених ґрунтів перетнула позначку в 15 мільйонів га, що складає 30% від всього земельного фонду України.

Відповідно до наукових праць Національного університету "Львівська політехніка", було зазначено, що найбільші епіцентри забруднення, а відповідно і забрудненні землі знаходяться на сході та півдні країни. Найбільш забрудненими областями вважаються Запорізьська, Луганська, Харківська, Дніпропетровська та Донецька. Більшість з земель зазначених областей забрудненні пестицидами та фосфорними добривами.

Проаналізуємо основні проблеми аграрних комплексів українських земель.

1. Найбільшою проблемою наразі є надмірна розораність земель. В процентних показниках виражено, що до 92% всього земельного фонду зайнято сільськогосподарськими угіддями, при цьому показник розораності понад 54%, при цьому в країнах ЄС цей показник нижчий за 35%. Показник лісистості на території України – 16% (країни ЄС 25 – 30%), але це критично мало для підтримання екологічного балансу сільського господарства та лісів.

Найбільш розорані території на півночі та в центрі країни, показник розораності на тих територіях складає до 90%. Але основним ризиком для плодючості є навіть не загальна розораність, а втрата при цьому корисних речовин, які формують шар гумусу.

Щоб зрозуміти дану проблему, наведемо приклад. В цілих чорноземах (не оброблених) вміст гумусу до 10%, а в наших розораних чорноземах цей показник складає – 3,7 – 4%.

До того, ж не розважливе землекористування може спричинити викиди вуглекислого газу в атмосферу на рівні викидів промисловості. Це спричиняє ще одне небезпечне явище – зміщення ґрунтових зон, що особливо помітно через розширення степових зон.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015					Арк
										10
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

2. Другою проблемою є деградація чорнозему. Це явище відбувається колосальними темпами, через те, що аграрні культури висмоктують всі поживні речовини з землі. Недотримання сівозмін, вирощування таких культур, як соняшник, соя та кукурудза – збіднюють землю. Після вирощування таких культур ґрунти виснажуються та набагато легше піддаються вітровій та водній ерозіям. За підрахунками вчених, за століття ми втратили до третини гумусного шару, при цьому природні темпи його накопичення становлять 10 см за два тисячоліття.

3. Іншою проблемою є хімічне забруднення земель. За для досягнення високої врожайності українські фермери можуть зловживати використанням пестицидів та різними засобами захисту рослин. При цьому чорноземи України наділені такими властивостями, як – висока буферність, а саме «терпимість» та поглинання ЗР. За рахунок цієї властивості земля абсорбує всі шкідливі речовини сотнями років, а потім буде віддавати їх в рослинну продукцію. В результаті споживання такої рослинної продукції, вирощеної на землях з надмірною концентрацією пестицидів, в організмі людини будуть накопичуватися ті самі речовини. По статистиці отруєння від продуктів харчування, в 95%, відбуваються через вміст в продукції отруйних хімічних засобів захисту рослин. До того ж в Україні використовують види хімікатів, які вже давно заборонені в Європі.

Для вирішення ряду проблем забруднення земель, необхідно запровадити систематичний моніторинг ґрунтів та встановити чіткі рівні допустимого забруднення шкідливими речовинами. Також, потрібно максимально ініціювати сільськогосподарські угіддя до зниження використання шкідливих речовин в промислі, або до впровадження більш безпечних аналогів.

Інв. № подел.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015				Арк
									11
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

1.2 Методи регенерації ґрунтів

Регенерація ґрунтів – це процес відновлення якості ґрунту, який був пошкоджений внаслідок людської діяльності або природних факторів. Існує кілька методів регенерації ґрунтів, які можуть використовуватись окремо або в комбінації для досягнення максимальної ефективності [8, 9].

Існує кілька методів регенерації ґрунтів, які можуть використовуватись окремо або в комбінації для досягнення максимальної ефективності (табл. 1.1). До таких методів належать внесення органічних та мінеральних добрив, компостування, внесення зеленої біомаси, захист від ерозійних процесів, обмеження землеробського впливу, біоремедіація ґрунтів, мульчування та метод агрофорест. Їх переваги та недоліки, також зазначені в таблиці 1.1 [3 – 13].

Отже, регенерація ґрунту є важливою проблемою в сучасному світі, оскільки без здорового ґрунту не можливе продовольче забезпечення людства. Отже, методи регенерації ґрунту є важливими інструментами для забезпечення сталого розвитку нашої планети.

Внесення органічних та мінеральних добрив допомагає покращити родючість ґрунту та збільшити його вміст поживних речовин. Компостування органічного матеріалу є іншим методом регенерації ґрунту. Зелене внесення, або висівання польових культур, що розкладаються в ґрунті, також є ефективним методом регенерації ґрунту.

Захист від ерозії ґрунту, використання консерваційного землеробства та сівозміни, а також біоремедіація є іншими методами регенерації ґрунту. Кожен з методів має свої переваги та недоліки, і вибір методу залежить від різноманітних факторів, таких як тип ґрунту, кліматичні умови, види культур тощо (таблиці 1.1 – 1.3) [10 – 13].

Інв. № по одл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		12

Таблиця 1.1 – Методи регенерації ґрунтів, їх переваги та недоліки

Метод	Суть методу	Переваги	Недоліки
Внесення органічних добрив	це метод регенерації ґрунтів, який передбачає внесення в ґрунт органічних добрив (компосту, навозу, перегною тощо), що сприяє покращенню родючості ґрунту та збільшенню його вмісту поживних речовин.	висока ефективність, допомагає відновити ґрунтову структуру та родючість	може призвести до забруднення ґрунту та водойми, якщо використовуються неякісні добрива або надмірні дози
Мінеральні добрива	це метод регенерації ґрунтів, який полягає в внесенні в ґрунт мінеральних добрив, таких як азотні, фосфорні та калійні добрива. Цей метод допомагає підвищити вміст поживних речовин у ґрунті та покращити родючість.	дозволяють забезпечити рослини необхідними поживними речовинами, підвищують врожайність.	можуть призвести до забруднення ґрунту та водойми, якщо використовуються надмірні дози.
Компостування	це метод регенерації ґрунтів, який передбачає використання органічного матеріалу (рештки рослин, фруктова оболонка тощо), який переробляється у компост. Потім цей компост використовується як добриво для ґрунту.	допомагає зменшити кількість відходів та відновити ґрунтову структуру та родючість.	може бути дорогим та вимагати значної кількості часу та праці для виготовлення компосту.

Інв. № подел.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Продовження таблиці 1.2

Зелене внесення	це метод регенерації ґрунту, що передбачає висівання на польові культури для того, щоб залишки рослин розклалися в ґрунті та підживлювали його.	дозволяє збільшити вміст органічної речовини в ґрунті та покращити його структуру та родючість.	може бути складним для реалізації на великих ділянках.
Захист від ерозії	це метод регенерації ґрунту, який передбачає використання різних методів для запобігання ерозії ґрунту, такі як установка бар'єрів, висадження дерев або будівництво стін.	запобігає втраті верхнього шару ґрунту, підтримує його родючість та допомагає зберегти природні екосистеми.	може бути дорогим та вимагати значної кількості праці для реалізації.
Консерваційне землеробство	це методи регенерації ґрунту, які передбачають збільшення продуктивності ґрунту без шкоди для навколишнього середовища	допомагає зберегти природні екосистеми та підтримувати родючість ґрунту, зменшує забруднення ґрунту та водойми, зменшує втрати врожаю.	може вимагати більшої кількості ручної праці, не підходить для вирощування деяких видів культур.

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата
-------------	--------------	-------------	------------	--------------

Продовження таблиці 1.3

Біоремедіація ґрунту	це процес використання мікроорганізмів, рослин або їх комбінації для відновлення забруднених або пошкоджених ґрунтів. Цей метод передбачає використання біологічних механізмів для розкладання забруднюючих речовин у ґрунті, таких як нафтопродукти або хімічні речовини.	ефективний метод для очищення забруднених ґрунтів, зменшує вплив забруднення на навколишнє середовище, може бути менш дорогим та менш витратним, ніж інші методи очищення.	може займати значний час для досягнення результату, не дієвий для всіх видів забруднень ґрунту.
Мульчування	метод, який передбачає покриття поверхні ґрунту шаром органічного матеріалу, наприклад, листям, соломкою, корою дерев або комостом.	допомагає зберегти вологу та поживні речовини в ґрунті, зменшує вплив ерозії та забруднення на ґрунт.	може вимагати більшої кількості ручної праці, не підходить для всіх видів культур.
Агрофорестрі	це метод змішування сільськогосподарської продукції з лісоміським господарством на тій же земельній ділянці. Основна ідея полягає в тому, що висадження дерев в сільськогосподарських землях знижує ерозію та витрати на зрошення, поліпшує якість ґрунту та забезпечує забезпечення продовольства та деревини.	Збільшує біорізноманіття, зберігає ґрунт від ерозії, зменшує втрати поживних речовин, забезпечує рівномірний розподіл води в ґрунті.	Може займати більше земельної площі, ніж традиційне сільське господарство, що може бути незручним для деяких фермерів.

Інв.№поодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

РОЗДІЛ 2 БІОЕНЕРГЕТИКА ТА ЇЇ ВІДХОДИ - ЯК ЕФЕКТИВНІ ВІДНОВЛЮВАЧІ ҐРУНТІВ

Біоенергетика є важливою складовою сучасної енергетики, основною метою якої є отримання енергії з біомаси. Однак, поряд з виробництвом енергії, біоенергетика також може мати позитивний вплив на середовище, зокрема на ґрунт, через використання відходів біоенергетики як ефективних відновлювачів ґрунту.

Один з основних відходів біоенергетики – біомаса, може бути використана як добриво для покращення якості ґрунту. Згідно з результатами досліджень, використання біомаси в якості добрива може покращувати структуру ґрунту, збільшувати кількість мікроорганізмів, що сприяє підвищенню врожайності та збільшенню вмісту вуглецю в ґрунті. Крім того, біомаса може використовуватись для біорекультиваци забруднених ґрунтів, зокрема, для видалення важких металів з ґрунту [5].

Іншим відходом біоенергетики є зола, яка залишається після згорання біомаси. Згідно з дослідженнями, зола може мати позитивний вплив на ґрунт, оскільки містить значну кількість макро- та мікроелементів, необхідних для росту рослин. Використання золи в якості добрива може також підвищити плодючість ґрунту та збільшити врожайність рослин.

Крім того, біоенергетика може мати позитивний вплив на ґрунт через використання біогумус та інших відходів, що можуть бути використані як добриво для ґрунту. Біогумус містить велику кількість мікроорганізмів, які сприяють покращенню ґрунту, збільшенню його родючості та підвищенню врожайності рослин.

Біоенергетика є важливим компонентом зеленої енергетики та може допомогти зменшити вплив нашого суспільства на навколишнє середовище, в

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		16

тому числі на забруднення повітря та зміну клімату. Крім того, використання біоенергетики та відходів для виробництва біогумусу може сприяти покращенню якості ґрунту та збереженню його родючості для майбутніх поколінь [4,5].

2.1 Біоенергетика. Види біомаси. Цикл виробництва

Види біомаси, які активно залучаються для вироблення енергії чи різновидів палива поділяються на три види, за їх первинним походженням: рослинні, тваринні матеріали та мікробіоджерела (рис 2.1).



Рисунок 2.1 – Види енергетичної біомаси за походженням

До біомаси тваринного походження переважно належать різні відходи тваринної життєдіяльності, такі як гній, послід та відходи з тваринних забоїв та м'ясних комбінатів [5].

До біомаси рослинного походження відносять рослини з природних комплексів, сільськогосподарських угідь, а також відходи деревообробної та харчової промисловості. Найбільш вживаними рослинами, в якості біомаси для

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

отримання енергії вважають трави, силос та соломи (та інші рештки вирощення та обробки зернових культур), лущиння соняхів, бадилля, стеблі, а також спеціальні енергетичні культури, які вирощують спеціально для отримання високоенергетичного палива. Досить перспективними, в ролі біомаси, вважають відходи деревообробних підприємств (тирса, гілля, кора та інші).

До біомаси з мікродоростей належать одноклітинні мікроорганізми, здатні до фотосинтезу. Вони перетворюють сонячну енергію на поживні та високоенергетичні речовини, які і є потенціальною біомасою. До основних фотосинтезуючих видів мікродоростей належать такі види, як діатомові, зелені, бурі водорості та ціанобактерії.

Перевагами біомаси з мікродоростей є можливість розмножуватися в будь-яких аграрних та кліматичних умовах, та при цьому можуть продукувати різні поживні речовини: білки, жири, барвники, вуглеводи та біологічно активні речовини (БАР).

Вчені світу покладають великі надії на розвиток вироблення біоенергії з мікродоростей. Тому, що спроможність та ефективність перетворення сонячної енергії на біомасу у мікроорганізмів значно вища за аналогічні можливості вищих рослин [5].

2.2 Технології перетворення біомаси. Відходи виробництва

Існують три методи отримання біомаси з сировини: фізичним, фізико-біологічним, фізико-хімічним методи (рис 2.2). Фізичний метод обробки біомаси використовує процес пресування, в залежності від вимог реалізації існує холодне та гаряче пресування.

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

									ТС 19510015	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						18



Рисунок 2.2 – Методи перетворення біомаси

Процес холодного пресування відбувається при температурі навколишнього середовища, за використання механічних пресів оброблюють переважно олійні культури рослин. Холод пресування є енергозощадливим, але продукти виробництва зберігаються порівняно менше ніж при гарячому пресування (не більш 3-4 місяців). Гаряче пресування вимагає додаткового нагрівання олійних культур перед пресуванням. Отримана олія має яскравий колір та може зберігатися до 10 місяців. Процес вимагає більших енергозатрат.

До фізико-хімічних методів переробки біомаси відносять процеси піролізу, спалювання, переестерифікації, екстракції та газифікація [5].

1. Процес спалювання – це екзотермічна реакція окиснення обраного виду біомаси. Процес супроводжується світінням та горінням, з виділенням теплової енергії та викидів газових сумішей. Дану енергію можна використовувати на пряму для нагрівання чи отоплення житлових масивів, або перетворити її на інші види енергії (механічну, електричну). Метод спалювання є найстарішим методом перетворення біомаси, так як людство почало використовувати вогонь для спалювання рослин та органічних решток тисячі років тому. це був найзручніший та найдоступніший енергоресурс.

2. Піроліз – це процес перетворення комплексних органічних сполук на більш прості за високих температур, до 800°C, та без доступу кисню. ККД піролізу визначають шляхом порівняння теплоти згорання вихідної сировини до

Підп. і дата	
Взаєм.інв.№ Інв.№дубл.	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

теплоти згорання вхідної сировини. Середні ККД піролізу становить 80 – 90%. Для даного процесу теплову енергію вилучають шляхом згорання коксо-газової суміші, що утворюються в результаті хімічних реакцій перетворення. Продуктами реакції є піропаливо, гази та дерев'яне вугілля.

3. Газифікація – це процес окиснення частини вуглецевмісної сировини з вилученням енергетичної речовини – генераторний газ. В якості основної сировини використовують торф або вугілля. Склад отриманого газу: метану, діоксиду вуглецю, вуглеводневї сполуки вищого порядку, пари води та азоту, монооксиду вуглецю, водню, та різні домішки (наприклад, смоли, частинки вуглистої речовини та золи). Окиснювачем в процесі виступає суміш газів повітря, водяного пару та кисню. Температурні показники в процесі газифікації коливаються в межах від 800 до 1300 °С.

4. Метод перетворення біомаси екстракція проходить з використанням олій з спеціальних рослинних культур. Вичавлену олії, від спеціальних енергетичних структур, використовують в двигунах внутрішнього згорання. Також олію можна перетворити на біодизель для класичних видів машинних двигунів. Метод екстракції відноситься до дифузійних процесів, в якому використовується різниця місцели для виділення олії з біомаси. Для виведення олії з мембран рослин, використовується спеціальні речовини-розчинники. Цей розчинник допомагає екстрагуванню, він дифундує в олію, після чого олійні частинки виходять в розчинник та виводяться назовні до граничного моменту урівнення показників концентрації олійних часток в речовині-розчиннику та за її межами. Після цього отримана міцела (розчин з олією) випаровується. Гази олії та розчинника сепаруються та виводяться окремо та конденсуються. Так отримується кінцевий продукт – високоенергетична олія.

5. Метод переестерифікації використовують для виробництва біодизелю з біомаси. В процес залучаються каталізатори та надлишковий тиск (за для інтенсифікації процесів та перемішування складових) при температурах

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015					Арк
										20
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	

від 20 до 60°C. Основне завдання процесу – це обмін вільними радикалами між складовими суміші (спиртом та тригліцеридом). Кінцевими продуктами процесу переестерифікації є гліцерин та біодизельне паливо (з високим вмістом естерів жирних кислот).

До фізико-біологічних методів оброблення біомаси, за для отримання енергії, відносять процеси зброджування та ферментації.

1. Метод зброджування біомаси. Даний процес розкладання органічних часток відбувається за участі мікроорганізмів при аеробних чи анаеробних умовах в спеціальних контейнерах – метантенках (при максимальній герметизації). Першим етапом в процесі біологічного зброджуваннями виступає розщеплення біополімерів до стану біомономерів. У другому етапі відбувається обробка мономерів та формування їх з'єднань за участі мікроорганізмів.

2. Метод ферментації біомаси. Метод базується на двох процесах – асиміляції та дисиміляції органічних з'єднань. Для цього використовують різні біологічні каталізатори, тобто ферменти. Наприклад, для розщеплення молекул білків використовують біоречовини – протеази, а для розщеплення вуглеводів (крохмалю, сахаридів) – амілазу.

Результатом методу ферментації є утворення горючого газу. Склад газу виражений у різній пропорційній концентрації речовин: CO, CH₄, O₂, H₂, CO₂, H₂O, N₂, H₂S та C_nH_m. При анаеробному ферментуванні біомаса розкладається на метан (до 70% в суміші) та вуглекислий газ, які є основними складниками біогазу.

Результатами різних видів переробки біомаси виступають різні цільові продукти. Загальна схема перетворення біомаси наведена на рисунку 2.3 [5].

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

					ТС 19510015		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			21

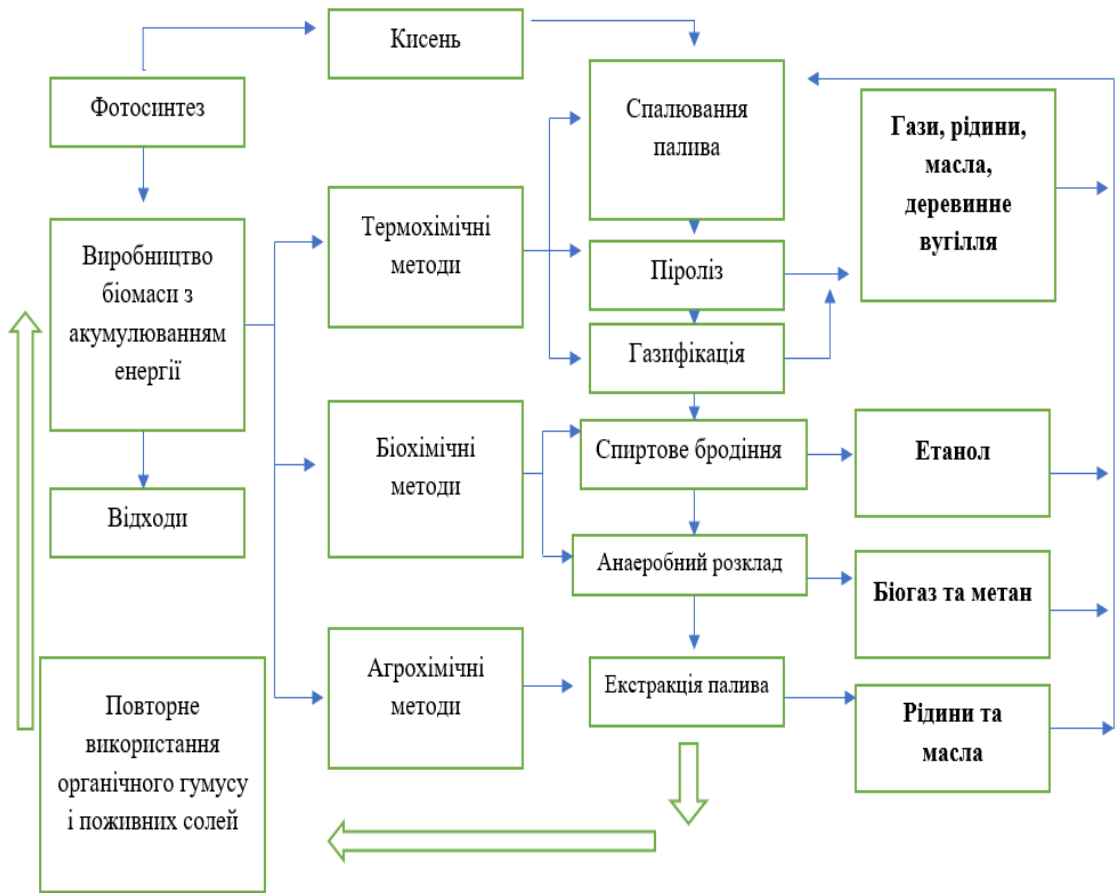


Рисунок 2.3 – Загальна схема перетворення біомаси з метою отримання енергії

2.3 Поняття біочару та процес його отримання

Біочар (biochar) — це збагачена сполуками вуглецю сировина, яку виробляють різними методами. До основних методів належать дегазація біомаси при низьких концентраціях кисню, або за його відсутності взагалі, а також метод піролізу при високих температурах. Всі методи мають унеможливити відкритий процес горіння за для збереження корисних властивостей біочару. Процес піролізу, під час виробництва біочару, проходить за температурних показників – до 800°C, тоді формується вміст вуглецевих сполук у біочарі на рівні 93 – 99% від загальної концентрації [6].

Підп. і дата	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Інв. № подл.	ТС 19510015	Арк
						22
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

До прикладу, біовугілля (biocoal) виготовляється при температурних показниках в 300°C та мають концентрацію вуглецю нижчу за 65% від загальної маси.

Біочар є не новим продуктом, його використовували на сільськогосподарських угіддях вже давно. Його отримували за рахунок повільного тління рослинних решток в спеціальних траншеях чи вигрібних ямах.

За останні десятиліття відмічається пропорційне підвищення утворення різних видів органічних відходів, харчової та сільськогосподарської галузей. До причин даного явища відносять високі темпи урбанізації та індустріалізації, в поєднанні зі швидким зростанням населення планети. При цьому тільки невелика частина утворених відходів, рослинного походження, утилізується чи якось реалізується (наприклад, для годуванням тварин чи переробки на біогаз).

Основна частина звальюється на полігони, чи в кращому випадку спалюється, що провокує викиди небезпечних забруднюючих речовин. Як результат, міграцію ЗР в атмосферне повітря, гідросферу та літосферу. Саме тому, використання органічних відходів для виробництва біочару може бути одним із ефективних шляхів вирішення проблеми їх утилізації [7,8].

Перевагами процесу виробництва біогазу є швидкість перебігу реакцій, дешевизна сировини та як результат, низька ціна вихідного продукту. Основні процеси переробки біосировини для отримання біочару – це ріроліз, сушка та торрефікація. Розглянемо дані етапи виготовлення біочару детальніше.

1. Першим кроком виступає сушіння. Під час сушки відбувається випаровування молекул води з утворення так званого «білого диму». Це відбувається через утворення хмари водяної пари при дуже низьких температурах до -200°C. В нормі використовують целюлозну сировину, або іншу біомасу, яка містить низький рівень вологи. У деревині вміст вологи – 12 – 20%, у соломі – 10 – 15%, у зелених видах біомаси вміст вологи перевищує показник у

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подел.	

					ТС 19510015		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			23

40% (тому, вони менш підходять для процесу). Сушка виступає підготовчим етапом, в якому витрачають теплову енергію за для виведення води з сировини.

2. Наступним кроком є торрефікація. Торрефікацію проводять при температурі до 300°С та за відсутності кисню. При таких вихідних умовах біомаса рихлішає та легше піддається руйнуванню органічних сполук. Через випаровування оцтової кислоти, процес проходить з виділенням специфічного та характерно запаху.

3. Далі йде піроліз сировини. Процес відбувається при температурних показниках в межах 350 – 600°С та за відсутності кисню. Виділяється коричневатий або чорнуватий дим, через вміст смол та масел. Для виготовлення біочару високої якості необхідно проводити процес при температурі 750°С, що збільшує показник активної площі біочару та знижує загальний вміст залишкового кисню та летких сполук.

Властивості біочару можна змінити правильно підібравши сировинну біомасу, спосіб та температурні показники процесу. Оцінку якості отриманого біочару проводять за фізичними показниками та хімічним вмістом золи та вуглецевих сполук. Характеристику також проводять за:

- характеристиками активної поверхні (загальна площа, фракції пор, хімічний склад);
- за елементарним складом (за вмістом вуглеводнів, азотних та сірчаних сполук та загальним вмістом кисню).

Температурні показники при яких проходить процес виготовлення біочару є найбільш значним для визначення його кінцевої якості. При термічній конверсії за вищої температури відбувається зниження вмісту летких сполук та стабілізується структури вуглецю та золи в біочарі.

Зі збільшення температур виготовлення продукту, підвищується стабільність та площа активної поверхні. Але завжди важливим є встановлення чітких температурних рамок. Тому, що при температурі до 500°С, площа

Інв. №подел.	
Підп. і дата	
Взаєм. інв. №	
Інв. №дубл.	
Підп. і дата	

ТС 19510015

Арк

24

активної поверхні не виходить за рамки 150 м²/г, але при цьому при перевищенні температури у 700 – 800°C – активна площа починає суттєво зменшуватися.

Якщо, проаналізувати склад отриманого біочару, то отриманий продукт з трав'янистої сировини має вищу зольність, ніж продукт з дерев'яної біомаси. Причина цього явища, у тому, що в процесі багаторічного росту дерева накопичується лігнін та целюлоза (зольність нижча), а при рості трави активно накопичуються мінерали калію, кальцію та фосфору, що підвищують вміст золи у біочарі [6 – 8].

2.4 Європейські вимоги до якості та сертифікації біочару

Виробництво біочару в Україні, має відповідати певним європейським стандартам. Наприклад, «Міжнародна біочарова ініціатива» (IBI) випустила нормативний документ (2014 рік), який регулює питання тестування та використання продукції – «Стандартизоване визначення продукту та керівництво з тестування продукції для біочару, який використовують у ґрунті».

У даному нормативному акті зазначені всі вимоги до випробувань продукції, категорій оцінки, безпекових вимог та співвідношення ціни та якості.

Відповідно до Міжнародної біочарової ініціативи виділяють 3 основні категорії для тестування:

1. Тестування на категорію А. Тест А перевіряє поживні та сорбційні якості біочарної продукції. Набір тестів перевіряє корисні властивості для ґрунту.

2. Тестування на категорію В. Тест В перевіряє загальну токсичність біочарної продукції. Для біочару виготовленого з попередньо обробленої продукції потребує частішого тестування на категорію В, а ніж біочар з первинної рослинної продукції.

Інд. № докл.	Підп. і дата
Взаєм. інв. №	Інв. № добувл.
Підп. і дата	Підп. і дата

3. Тест на категорію С. Тест С проводиться для розширеного аналізу показників, які можуть покращити властивості ґрунтів. Тест проводиться опційно від потреби замовника та виду продукції.

Аналіз складу біочару може бути розширений за для доповнення основних тестувань А і В. Категорія С – не є обов'язковою для виробників (вони можуть на власний розсуд повідомляти про відсутність чи наявність певних властивостей категорії С).

Відповідно до тесту А «Основні корисні якості» потрібно моніторити всі види біочару. Вся вироблена біочарова продукція має відповідати критеріям. В документі зазначені основні характеристики фізичних та хімічних показників.

До них належать:

- фізичні: вміст вологи, розмір фракцій біочару;
- хімічні: вміст вуглецю, водню, частинок азоту, загальна зольність;
- додаткові: електропровідність та водневий показник (pH).

Показник C_{org} визначає загальний відсоток вмісту органічного вуглецю в продукті. В залежності від нього біочар можна віднести до трьох класів: низьовуглецевий $10\% \leq C_{org}$ – 3 клас, середньовуглецевий $C_{org} \geq 30\%$ – 2 клас та високовуглецевий $C_{org} \geq 60\%$ – 1 клас. Показник стійкості матеріалу вчислюють за допомоги співвідношення загального водню до вмісту вуглецю.

При виробництві біочару з відпрацьованих відходів біопаливного циклу встановлюються вищі критерії оцінювання. Для таких видів біочару встановлюють наступні параметри, які піддаються постійному моніторингу:

1. Декларують показник сухої маси речовини, та окремо відсоток вологості біочару.

2. Перевіряють вміст вуглецю. Для біочару з переробленої сировини вимоги по вмісту сполук вуглецю, в сухій масі, встановлені на рівнів – не менше зо 50%. Якщо даний показник менший за 50% такий біочар характеризують як – біовуглецеву продукцію (Bio-CarbonMineral — ВСМ).

Підп. і дата	Інкв.№дубл.	Взаєм.інв.№	Підп. і дата	Інкв.№подл.

ТС 19510015

Арк

26

Вип Арк № докум. Підп. Дата

3. Процент органічного вуглецю в речовині під час піролізної обробки. Цей показник може коливатися в межах від 5% до 95% сухого залишку, при врахуванні виду процесу обробки та матеріалу первинної сировини. Нормування описані в європейському стандарті DIN51732, за яким даний показник в біочарі з деревини – 85 %, а в біочарі з кісткових решток – до 10%.

4. Молярне відношення кисню до вуглецевого вмісту (O/C_{org}). За стандартами повинне бути $\leq 0,4$. Також є показником стабільності біовугілля, але додатково визначає тип продукції від інших продуктів.

5. Молярне відношення водню до вуглецевого вмісту (H/C_{org}). За стандартом повинне бути $\leq 0,7$. Показник показує ступінь стабільності сполук та їх загальної карбонізації. Це одна з найбільш важливих ознак якісного біочару.

6. Зольність біочару – це декларативна характеристика. Вимірюється у сухому залишку у відсотковому вмісті.

7. Показник летючих органічних сполук (ЛОС) в біочарі. Дану характеристику ввели через те, що дані сполуки займають основну частину синтез-газу, а він потім конденсується на поверхневій площі вугілля.

8. Коефіцієнт «Чорного вуглецю». Він є показником стабільності вуглецевих ізотопів в речовини та майбутню стабільність цих ізотопів в ґрунтових покривах. Вміст має бути більше за 10% від сухого залишку маси речовини. «Чорний вуглець» складається з органічних речовин з високим показником розкладу. Ці частинки легко піддаються поліконденсації ароматичних вуглецевих сполук.

9. ГДК вмісту важких металів.

10. Відношення вмісту корисних речовин до сполук фосфору, кальцію, азоту та магнію у біочарі [6 – 8].

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015					Арк
					Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	27

РОЗДІЛ 3 ЗАСТОСУВАННЯ БІОЧАРУ ДЛЯ РЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТІВ

Різновиди біочару та біовугілля притягують увагу наукової спільноти, через їх можливості в сферах біоенергетики та стабільному природокористуванні, в лісовій та сільськогосподарських галузях.

Через брак розробок та промислових потужностей, використання біочару не набуло загальнодержавних обсягів, але це не заперечує високий потенціал даного матеріалу в сфері ремедіації ґрунтів.

З 2009 року біовугілля було призначено високо функціональним біоматеріалом. Йому знайшли застосування в знезараженні та очищенні забруднень, в скороченні антропогенного чинника на парниковий ефект (за рахунок зв'язування вільного вуглецю), в якості органічних добрив, для фільтрації водних ресурсів та в біоенергетиці (в якості високоенергетичного матеріалу).

Відповідно до підпункту 2.4, а саме сертифікації біочару в країнах ЄС, біочар отримують шляхом карбонізації, за відсутності кисню та в конкретних температурних рамках.

Біовугілля – це мікропористий матеріал, з високовуглецевою структурою, який утворюється шляхом обробки сировини анаеробним піролізом (<2% кисню в процесі).

При піролізі деревини за температури 350 - 850°C в деревині зберігається структура провідних клітин, що надає продуктам адсорбційних властивостей та збільшує активну поверхню. В результаті отримане біовугілля навіть при звичайних температурах спроможне очищувати ґрунт від різних забруднювачів (важких металів та навіть газів) [13, 14, 17].

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата

ТС 19510015

Арк
28

Не зважаючи на те, що в науковій спільноті продовжується дискусія, щодо адсорбційних властивостей біочару до сполук азоту, переважна частина схиляється до позитивного ефекту [19,20].

В цих дискусіях однозначно зазначається, що процес адсорбції азотних сполук на пряму залежить від температурних показників та часу. Також, дослідження показують, що адсорбційні властивості більші у біочару, що полежав на складах та має певний час «витримки», а ніж щойно утворений біочар. Це відбувається через підвищення гідрофільних властивостей у біовугілля з часом.

Через процес перетворення кислотних формацій (переважно карбоксильних груп) в нейтральні або аморфні, біовугілля показує свої властивості до зниженого катіонного обміну речовин. Зазвичай це явище характерно для біочару виробленого за високих температур (більш ніж 600°C). Ці дослідження також вказали на те, що біочар, який був виготовлений за середніх температур, функціонально більш відповідний до вловлення форм розчинного азоту.

До того ж, на властивості до адсорбції впливає сировина, з якої був виготовлений біочар. Якщо сировина трав'яниста – це порівняно збільшує адсорбційні властивості (через карбоксильні групи та мінеральні складові), а ніж використання сировини з дерева. В трав'янистій сировині наявна розчинна форма фосфору, який є корисним елементом для життєдіяльності майбутніх рослин та їх метаболізму. Мобілізація фосфору в біочарі відбувається через фосфоронакопичуючі мікроорганізми, які розчиняють сполуки фосфору, який мігрує в біочар [12, 16].

Можна підсумувати, що найбільш корисною, для ремедіації ґрунтів, властивістю біочару – є здатність адсорбувати важкі метали, мінеральні сполуки та живильні речовини для рослин в своїх порах. Він робить їх доступними для рослин та виступає в якості добрив та фільтру, за рахунок великої активної

Інв. № докл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № докл.	Підп. і дата

						ТС 19510015	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			29

площі поверхні клітин, порак в структурі та високій катіонній ємності до чисельних функціональних груп.

В деяких дослідженнях зазначається, що біовугілля має бар'єрні властивості та може запобігати вимиванню корисних речовин з компостів. Біочар з листових культур показує найвищі бар'єрні властивості до вимивання фосфатних та азотних сполук, при цьому збільшуючи концентрацію розчинного фосфору (більше на 77%), азоту (більше на 30%) та калію (до 100%) у власній структурі.

Використання біовугілля в сільському господарстві покращує характеристики та структуру земель. Ґрунти набувають кращу пористість, що сприяє газообміну насиченню киснем; кращі волого-утримуючі властивості та збільшують площі активної поверхні, що надзвичайно важливо для життєдіяльності грибів та бактерій.

Також було зазначено, що через активне поглинання інгібіторів нітрифікуючих елементів (фенолів та інших спиртів) відбувається стимуляція нітрифікаційних процесів. Біовугілля є джерелом мікроелементів (кальцію, калію, фосфору, броду) для бульбачевих бактерій виду *Rhizobia*. Біочар значно покращує свої властивості у поєднанні з компостом, що покращує вміст корисних речовин та підвищує врожайність рослин [13 – 15].

3.1 Ефективність біочару в якості адсорбенту забруднюючих речовин

Як вже відомо, біочар сприяє розвитку рослинних культур, покращує водо-утримуючі здатності, адсорбує ЗР та пригнічує хвороби рослин за рахунок підвищення стійкості ґрунтів. До того ж, біочар – це джерело чистої енергії, який має негативний вуглецевий потенціал.

Вплив на врожайність та родючість полів залежить і від складу та процесу вироблення біочару. Найвдалішою комбінацією факторів виробництва вважають

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015	Арк
						30
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

показник $C_{org} > 70\%$, низьку зольність та вміст ЛОР, кислотність в межах 7–9 рН, нейтралізуючими кислотними властивостями та площу активної поверхні біоматеріалу приблизно в $300 \text{ м}^2/\text{г}$.

Під час процесу піролізу сировина залишає основну частину вуглецевих сполук в біочарі, до того ж залишаючи корисні мінерали та поживні елементи. Цей процес поглинання вуглецю знижує кількість CO_2 в атмосфері та при цьому підвищує врожайність. Подвійний позитивний ефект, який схожий за принципом дії до природнього процесу формування шару гумусу. Як і гумус, біочар володіє великою активною площею, пористою структурою, здатністю втримувати вологу, але до того ж може затримувати в свої порах обсяг води та корисних мікроелементів до 5 разів більше ніж власна маса.

Біочар – стабільний матеріал та не піддається процесу гниття. Це додає йому переваг, так як працівники сільськогосподарської галузі зможуть заощадити кошти на оновленні та зберіганні добрив з біочару, а також отримати додаткові екокредити за зниження викидів та парникового ефекту в своїй виробничій діяльності [16, 17].

Аналіз наукових статей показує, що біовугілля має здатність до зниження концентрацій нітратів у верхніх шарах літосфери та водоймах, абсорбуючи їх та пришвидшуючи накопичення гумусу.

Азот – це життєво важливий елемент для рослин. Він існує в різних формах: органічний та неорганічний. В природі, більша частина органічних форм азоту з часом переходять в неорганічні форми (такі, як амонійні та нітратні азотові сполуки) та потім поглинаються рослинністю за для поповнення мінерального балансу. Проте, висока активність мікроорганізмів викликає надмірний розклад та втрату органічного та неорганічного азоту. Біочар – може цьому перешкоджати та накопичувати азот в собі перешкоджаючи втраті корисних елементів, що в результаті позитивно впливає на плодючість ґрунтів.

Інв. №поділ.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

Практичні дослідження показали, що при додаванні біочару до добрив відбувається підвищення врожайності на цих землях до 25%. У порівнянні з іншими добривами, біочар сприяє підвищенню вуглецю на 1,25%, а мінеральні добрива – лише на 0,93%, підвищенню рівня вологи на 23%, коли мінеральні добрива – на 18%.

Отже, як було зазначено, біочар сприяє затриманню води в ґрунтах, що підвищує загальну доступність до вологи рослин, та заощаджують кошти на встановленні дренажів, або систем стікання води на полях.

Були проведені дослідження, щільності земель, в які вносили добавки з біочаром. Результати показали, що по мірі внесення нормованих доз біочару в ґрунт, спостерігається зниження надмірної щільності, відбувається розпущення та аерація, підвищується показник вологості та знижується інфільтрація.

В дослідження впливу біочару на землі з різними відсотками дефіциту вологості (дефіцити від 60 до 100%) вказали на підвищення врожайності на цих землях. Також було зафіксовано підвищення різноманітності видового складу мікроорганізмів, черв'яків та грибів, що позитивно впливають на ферментацію ґрунту. При внесенні добрив зі вмістом біочару в 1 % від загальної маси ґрунту, було відзначено підвищення активності бактерій та грибів на локальній ділянці, але при внесенні концентрації в 5 % відсотків відбувається протилежний ефект [13 – 17].

Отже, використовуючи біочар можна регулювати вміст грибів та мікроорганізмів. Науковці пояснюють це явище зміненням рН: при дозі від 1 до 2% ґрунт показує нейтральну реакцію (рН від 7 до 7,5), а при дозуванні в 5% лужність підвищується до 8,5, що пригнічує бактерії та гриби. Мікроорганізми також відчувають покращення поживного та вуглецевого вмісту, що провокує їх розмноження.

Велику роль в обігу вуглецю, фосфору та азоту відіграють різноманітні ґрунтові мікроби. За допомоги їх ферментів (інвертази, целюлази, уреазы,

Інв.№поодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

					ТС 19510015		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			32

фастази, лактази та інших) відбувається розщеплення складних полімерних органічних сполук на прості мономери, які доступні для поглинання рослинами.

Встановлений стимулюючий ефект біочару для ферментації мікроорганізмами, що провокує виділення β -1,4-N, α -1,4-глюкозидази і β -целобіогідролази, а також виступає інгібітором для β -1,4-глюкозидази та для загальної активності фосфатазів та інвертази.

Отже, дослідження впливу біочару на вміст та доступність корисних елементів для рослин показує позитивний ефект, який збільшує мікробіологічну активність у синтезі позаклітинних ферментів, за рахунок зв'язування вільного вуглецю, який виступає в якості поживного середовища для них. До того ж, дані чинники можуть поліпшити загальну якість ґрунту та підвищити резистентність та стійкість рослинних культур до різноманітних захворювань, в результаті стимулювання в них захисних реакцій.

Наприклад, при внесенні біочарних добрив, у концентрації 3% від загальної маси ґрунту, спричиняю явище підвищення толерантності до такого виду патогенних грибків, як *Botrytis cinerea*. Особливий ефект був помітний на ягодах та листках полуниці.

Інший приклад, толерантності до патогенів показали перець та томати, а саме до видів – *Oidiopsis sicula* та *Botrytis cinerea* – при додаванні біочару в субстрат ґрунту. Науково підтвердженими є зниження хвороб різних сортів огірків від ураження *Rhizoctonia solani* та нематодами виду *Pratylenchus penetrans* [19, 20].

Проте було продемонстровано, що основні механізми, відповідальні за посилення захисту рослин від мікроорганізмів у ґрунті під час використання біовугілля, залежать від доступності поживних речовин для рослини-господаря, стимуляції біомаси, видалення або нейтралізації токсину, та індукції системної відповіді рослиною-господарем.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

					ТС 19510015		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			33

Отже, біочар є особливо перспективним для сільськогосподарської діяльності в Україні в цілому, а особливо на півдні, де особливо актуальні проблеми розвитку хвороб рослинних культур та зневоднення ґрунтів.

В результаті аналізу розділу, було визначено, що властивості біочару та його ефективність суттєво залежать від способу його виробництва й типу сировини. Більш того, якість і ефективність біочару, що впливає на родючість ґрунту та розвиток рослин, сильно різняться в залежності від температури піролізу, типу сировини, терміну зберігання біочару.

3.2 Ефект впливу біочару на родючість ґрунтів

Родючий ґрунт – це запорука ефективного та безпечного існування харчової промисловості. В ньому відбувається розкладання залишків тварин та рослин, накопичується волога та вуглець з атмосфери. Моніторинг показників земельних ресурсів (вмісту органіки, якість структури, вологість) та їх регулювання надзвичайно важливі для сільськогосподарської діяльності.

Біовугілля, як легка та високопориста речовина, зменшує показники щільності ґрунтів, а також покращує його водоутримання та аерацію. Додавання біовугілля сприяє поверненню поживних речовин, які були вилучені під час збору врожаю.

Багато поживних речовин у біомасі перетворюються на біовугілля під час процесу піролізу. Калій, кальцій і магній, які є складовими карбонатного газу (CO₂) і мінералізуються в процесі знекиснення ґрунту (Soil Deoxygenation), можна використовувати для розкислення ґрунту. Біовугілля сприяє збереженню ґрунту, підвищує родючість і зменшує потребу в хімічних добривах. Застосування біовугілля дозволяє значно зменшити площі, відведені під вирощування сільськогосподарських рослин, при цьому загальний обсяг врожаю зберігається.

Інв. № покл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015				Арк
									34
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата					

Біовугілля підвищує родючість кислих ґрунтів і врожайність сільськогосподарських рослин у цілому, а також захищає рослини від деяких специфічних хвороб листя та гниття плоду [17 – 20].

Високопориста природа біочару підсилює властивості до збереженню води та підвищує рочинність корисних речовин, що надає біочару унікальні властивості. Біочар вже активно використовується в Америці, Європі та Австралії.

Біовугілля становить 70 – 96% вуглецевих сполук, за масовим складом, та високоякісною органічною речовиною. За допомоги властивості тривалого зберігання біочару, його можна вважати однією з форм зберігання та захоплення CO₂ з повітря.

Українськими науковцями також активно проводяться дослідження впливу біочару на родючість земель.

У статті "Перспективи застосування деревного вугілля (біочару) як ефективного контрзаходу для радіоактивно забруднених і деградованих лісових екосистем", описує використання біочару, як ефективного контрзаходу для відновлення радіоактивно забруднених та деградованих лісових екосистем.

У статті автори провели дослідження літературних джерел, щодо використання біовугілля для зменшення наслідків радіоактивного забруднення та поповнення лісових екосистем. Автори припускають, що використання біовугілля підвищить родючість ґрунту, зменшить ерозію та сприятливо вплине на зберігання вуглецю в ґрунті. Результати експерименту показали позитивний вплив біочару на ґрунт, що стосується зменшення вмісту радіонуклідів та збільшення врожайності дерев.

Дослідження, описане у статті "Перспективи застосування деревного вугілля (біочару) як ефективного контрзаходу для радіоактивно забруднених і деградованих лісових екосистем", досліджує можливість використання біочару для відновлення деградованих та радіоактивно забруднених лісів.

Інв. № подел.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

Результати дослідження показали, що додавання біочару до ґрунту деградованих лісових екосистем дозволяє збільшити вміст органічного вуглецю в ґрунті та поліпшити його структуру. Біочар також знижує токсичність та ризик вивільнення радіоактивних речовин в ґрунт та атмосферу.

Дослідники дійшли висновку, що використання біочару може бути ефективним способом відновлення деградованих та радіоактивно забруднених лісів, а також позитивно впливає на загальний екологічний стан екосистеми. Однак, дослідження також показали, що ефективність використання біочару може залежати від ряду факторів, таких як тип ґрунту та дозування біочару.

Дослідження вказує на потенціал використання біочару для відновлення деградованих та радіоактивно забруднених лісових екосистем та вкладається в загальну тенденцію зростання інтересу до використання біочару як екологічно безпечного матеріалу для ремедіації деградованих ґрунтів та відновлення екосистем.

У статті "Ефективність використання біочару для підвищення родючості забрудненої важкими металами ґрунту" автор О.М. Кілевої з Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету досліджує використання біочару як засобу детоксикаційної терапії забруднених важкими металами ґрунтів. В статті досліджено вплив біочару на збільшення родючості ґрунту і зменшення токсичності важких металів у забрудненому ґрунті.

Автори використовували біочар, вироблений з різних відходів деревини та побутового сміття. Було проведено експерименти з додаванням біочару до забрудненого ґрунту та порівняння результатів з контрольним зразком.

Згідно з результатами дослідження, використання біочару виявилось ефективним способом для зниження токсичності важких металів у забрудненому ґрунті. Використання біочару також покращило родючість ґрунту і збільшило врожайність рослин.

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

					ТС 19510015		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			36

Загалом, стаття підтверджує можливість успішного використання біочару для підвищення якості ґрунту і зменшення токсичності важких металів у забрудненому ґрунті. Однак, більше досліджень потрібно для визначення оптимальних умов використання біочару для конкретного типу забрудненого ґрунту.

Отже, після того, як значні обсяги біовугілля будуть доступні для комерційного використання в Україні, продуктивність сільського господарства може значно зрости як у рослинництві, так і в тваринництві. Фермери зможуть продавати або використовувати відходи від рослинної продукції за для виготовлення біочару [16 – 20].

3.3 Вуглецевий цикл з використанням біочару

У разі правильної організації виробництва, біочар є «від’ємним за вуглецем» - він видаляє чистий вуглець з атмосфери. У процесі «вуглецевого циклу» зелені рослини шляхом фотосинтезу переробляють вуглець із вуглекислого газу атмосфери у біомасу.

Практично увесь цей вуглець (99%) поступово повертається до атмосфери після загибелі та розкладання рослин, або вже в процесі спалювання біомаси в якості альтернативи викопним паливам. У «Циклі з використанням біочару» є всі підстави для створення економічної ефективності створення в АПК цілісного підприємства, яке зможе не тільки виробляти широкий спектр сільськогосподарської продукції, але також буде успішно переробляти відходи свого виробництва, генерувати теплову та електричну енергію для виробничої та комунально-побутової сфери, що частково впроваджено у США.

Продукт п’ятого циклу перероблення, біочар, можна використовувати в якості унікального органічного добрива.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 19510015

Арк

37

Таким чином, виробничий цикл замкнеться, родючість ґрунтів зросте, підніметься врожайність, зменшаться викиди вуглекислого газу в атмосферу, що призведе до високої прибутковості та швидкої окупності підприємства навіть за найскладніших економічних умов. А на чорноземах України таке виробництво просто приречене на успіх.

У межах циклів перероблення біомаси найбільший прибуток отримує саме те підприємство, яке переробляє більшу кількість вихідної сировини та виробляє більш наукомістку продукцію, яку використовує в замкнутому виробничому циклі. Органічні добрива, вироблені з відходів власного виробництва, здешевлюють весь ланцюг готової продукції на всіх етапах її вироблення.

Основні чинники, за якими створення такого замкнутого технологічного процесу призведе до реалізації успішного бізнесу та розвитку «зеленої економіки»:

1. Кліматичні зміни, які призводять до зменшення площі родючих земель, придатних для сільськогосподарського виробництва. Використання біочару в якості добрива дозволить підвищити урожайність та скоротити площу посівів;
2. Необхідність підтримання кругообігу вуглецю в ґрунті, який порушує вивезення вирощеного врожаю за межі держави та неповернення органічних речовин у ґрунт. Біочар на тисячоліття зв'язує вільний вуглець у ґрунті, підтримуючи його родючість;
3. Збіднення гумусного шару, пов'язане зі зростанням інтенсивності сільськогосподарського виробництва та відмовою від використання традиційних сівозмін [14 – 20].

Інв. № подел.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата

3.3 Повний цикл отримання та використання біочару

В біоенергетиці можна виділити багато схем перетворення біоматеріалів на енергію. Розглянемо дві основні технологічні схеми утворення біочару, які можна запровадити на підприємства АПК, як замкнений цикл виробництва (рис. 3.1 та 3.2) [5,8,9].

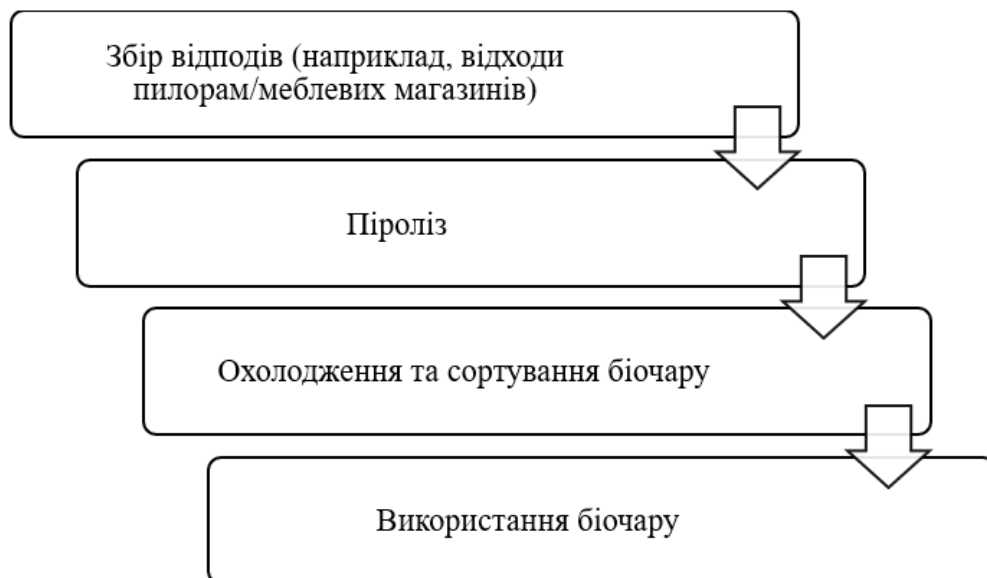


Рисунок 3.1 – Схема отримання біочару №1

Схема №1 передбачає наступні заходи (рис. 3.1):

1. Збір відходів: Відходи пилорам та меблевих магазинів збираються та транспортуються до спеціальних майданчиків для подальшої обробки. Підготовка відходів: Відходи піддаються попередньому сортуванню, що дозволяє видалити з них будь-які непридатні матеріали, такі як метал, скло тощо. Також можуть проводитися додаткові операції, такі як подрібнення відходів.
2. Піроліз: Під час піролізу відходи піддаються термохімічному розкладу за високої температури та відсутності кисню, що дозволяє отримати

Підп. і дата
Інв.№подл.
Взаєм.інв.№
Інв.№дубл.
Підп. і дата

біочар. Процес піролізу може бути проведений в спеціальних печах, автоклавах чи інших установках.

3. Охолодження та сортування біочару: Отриманий біочар піддається охолодженню та сортуванню. У результаті цих операцій видаляються будь-які залишки та непридатні домішки.

4. Використання біочару: Очищений біочар може бути використаний як добриво. Біочар збагачує ґрунт необхідними мінеральними речовинами та збільшує його водопроникність, що дозволяє покращити врожайність.

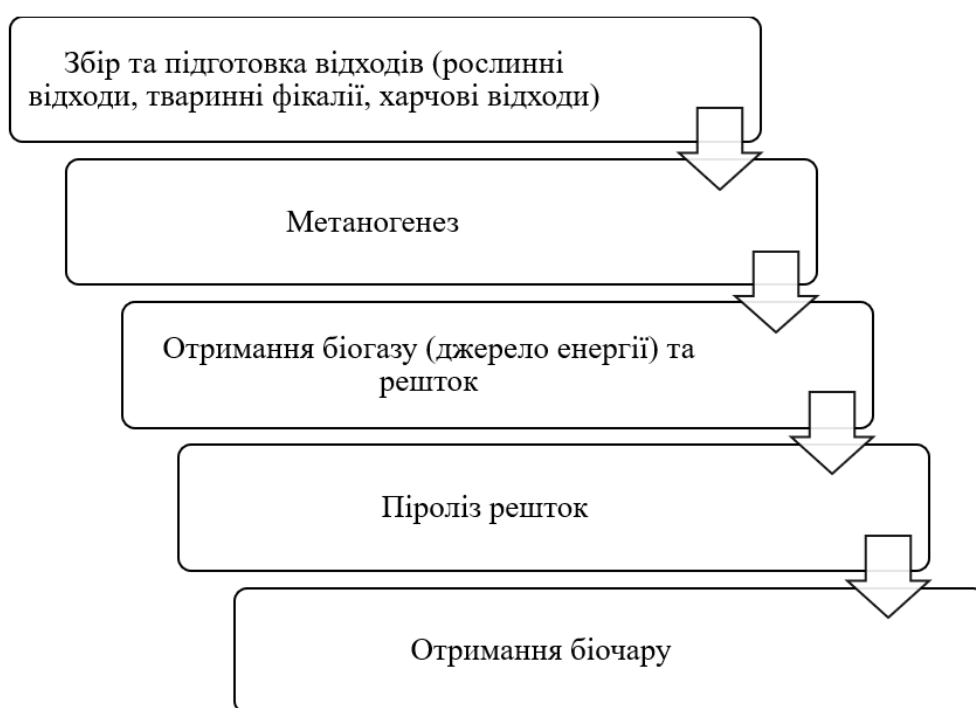


Рисунок 2.4 – Схема отримання біочару №2

Схема №2 передбачає наступні етапи (рис.2.4):

1. Збір відходів: Органічні відходи, такі як рослинні та тваринні залишки, фікалії та інші відходи, збираються з місць їх утворення.

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата

2. Підготовка відходів: Відходи можуть потребувати попередньої підготовки, наприклад, роздрібнення на менші частинки, для поліпшення процесу переробки.

3. Метаногенез: Деякі органічні відходи можуть бути піддані процесу метаногенезу, який включає бактеріальний розклад відходів в анаеробних умовах з утворенням біогазу. Метан, що утворюється в процесі, може бути використаний для виробництва електроенергії або тепла.

4. Отримання біогазу: Біогаз може бути отриманий з відходів, які пройшли процес метаногенезу, з використанням спеціального устаткування.

5. Отримання енергії: Біогаз може бути використаний для виробництва енергії, наприклад, для генерації електроенергії або тепла.

6. Піроліз: Інші органічні відходи, що не піддалися метаногенезу, можуть бути піддані процесу піролізу. Піроліз - це процес високотемпературної переробки відходів у відсутності повітря з утворенням біочару та інших продуктів.

7. Отримання біочару: Отримаємо тверду пористу речовину, що утворюється в результаті процесу піролізу. Вона має високу питому поверхню та поживні властивості.

Обидві схеми можуть бути ефективними виробництвом біочару для використання в ремедіації ґрунтів, але вони мають різні переваги та недоліки.

Схема №1 використовує відходи пилорам/меблевих магазинів, що зменшує кількість відходів та сприяє їх переробці. Піроліз дає можливість виготовляти біочар з високою концентрацією вуглецю та малим вмістом золи. Однак, ця схема може бути дорожчою у виробництві через необхідність спеціальних установок для піролізу та збору відходів.

Схема №2 використовує органічні відходи, що дозволяє їх використовувати у повному обсязі, але це може призвести до меншої якості біочару через вміст інших компонентів, таких як нітрати та амоніак.

Інв.№поодл.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015					Арк
										41
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата						

Використання метаногенезу для виробництва біогазу може бути ефективним способом отримання енергії, але це збільшує вартість виробництва та складність процесу.

В кінцевому результаті, обидві схеми можуть виробляти біочар з високою концентрацією вуглецю, але схема №1 може бути більш ефективною та економічно вигідною за рахунок використання відходів пилорам/меблевих магазинів та більш чистого процесу піролізу. Ця схема націлена на реалізацію утвореного біочару. Схема №2 буде більш ефективною на території АПК, та є адаптивною до різних видів відходів та націлена на самостійне використання на угіддях та реалізації надлишків.

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015	Арк
						42
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Поняття охорони праці регулюється чинним Законодавством України, відповідно до якого, охорона праці – це комплекс систематичних дій спрямованих на покращення організаційно- технічних, економічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних складових для працівників, з метою покращити їх працездатність та здоров'я. До нормативних актів, які регулюють сферу охорони праці належать наступні документи наведені нижче.

Нормативні документи, які регулюють сферу охорони праці на підприємствах:

1. Закон України «Про охорону праці».
2. «Типове положення про службу охорони праці».
3. «Порядок розслідування та ведення обліку нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на виробництві».
4. «Типове положення про навчання з питань охорони праці».
5. «Положення про розробку інструкцій з охорони праці».
6. «Перелік робіт з підвищеною небезпекою».
7. «Перелік робіт, де необхідний професійний відбір».
8. «Граничні норми підняття і переміщення важких речей жінками».
9. «Граничні норми підняття і переміщення важких речей неповнолітніми».
10. «Положення про медичний огляд працівників окремих категорій».
11. «Перелік посад посадових осіб, які зобов'язані проходити попередню і періодичну перевірку знань з охорони праці».
12. «Порядок розробки і затвердження власником нормативних актів про охорону праці, чинних на підприємстві».

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № подл.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата
-----	-----	----------	-------	------

ТС 19510015

Арк

43

13. «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту».

14. «Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці».

15. «Типове положення про комісію з питань охорони праці».

16. «Типове положення «Про кабінет охорони праці».

При виготовленні біоچارу, який є продуктом ряду фізичних хімічних та біологічних перетворень, важливо дотримуватися всіх відповідних норм та заходів щодо регулювання охорони праці на підприємствах. Важливо зважувати всі ризики, які можуть виникнути під час діяльності устаткування та перебігу процесів.

Розглянемо основні небезпечні фактори, які можуть впливати на працівників на підприємствах виробництва біоچارу. До таких факторів належать хімічні, фізичні та біологічні фактори [5].

Хімічні фактори впливу на працівників включають:

1. Викиди метану. Даний вид викидів належить до IV класу безпеки. Для нормальної роботи працівників ГДК метану не має перевершувати 300 мг/м^3 в просторі робочої зони. При концентраціях метану – від 20 до 30% - відчувається суттєве зниження концентрації кисню в повітря (з 21% - норми – до критичних – 15 – 16%). Зниження кисню може негативно впливати на самопочуття працівників спричиняючи кисневий голод. Він супроводжується наступними симптомами: зниження концентрація, порушення координації рухів, збільшення тиску та пришвидшення серцебиття, а також збільшення вентиляції легень.

2. Викиди сірководня. Даний вид викидів належить до IV класу безпеки. Відповідні норми ГДК для повітря в робочій зоні має не перевищувати 10 мг/м^3 . Симптоми отруєння сірководнем наступні: зниження нюху, що провокує не розпізнавання перших симптомів отруєння, що провокує подальше отруєння організму. При контакті зі слизистими оболонками та

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата	TC 19510015	Арк
						44
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

потраплянні в організм відбувається враження нервової системи та кровообігу. Газ провокує кисневе голодування через деструкцію гемоглобіну в крові. При підвищених температурах газ набуває більшої токсичності та зростає кількість летких сполук, що підвищує проникність шкідливих речовин через слизові оболонки та шкірний покрив.

3. Викиди аміаку. Даний вид викидів належить до IV класу небезпеки. До симптомів ураження аміаком належать: ураження слизових оболонок, кашель та чхання, хрипота та нудота. При гострому ураженні відбувається втрата голосу, рясна сльозотеча, задуха, спазми голосових м'язів, почервоніння, пітливість, набряки повік. При вдиханні чистого аміаку відбувається миттєва смерть через зупинки дихання.

Фізичні фактори небезпечного впливу на працівників включають:

- замикання електричного ланцюга через тіло людини при перепадах напруги (ризика: електроопіки, зупинка життєвоважливих органів);
- рухливі механізми, обертальні частини та транспорт, якій курсує по підприємстві (ризика: травми та поранення);
- підвищений вібраційний та шумовий рівень (ризика: туговухість та втрата слуху);
- погане освітлення робочої зони (ризика: погіршення чи втрата зору);
- перевищення напруги в електричній мережі, при показниках напруги в 380В людина може загинути миттєво;
- необачне поводження з апаратами з високою температурою поверхні (ризика: термічні опіки);
- необачна робота з обладнанням під високим тиском (ризика: підвищення пожежна небезпека, травмування);
- підвищенні температури повітря в робочій зоні (ризика: порушення терморегуляції організму);

Підп. і дата	Підп. і дата
Інв. № докл.	Взаєм. інв. №
Вип	Арк
№ докум.	Підп.
Дата	Дата

ТС 19510015

Арк

45

Біологічні фактори небезпечного впливу на працівників включають патогенні мікроорганізмів з різних субстратів.

Також на керівники та відповідальні за охорону праці на підприємствах виробництва біочару мають зважати на стан повітряного середовища, нормалізацію мікрокліматичних умов та термозахист для працівників.

1. Питання оздоровлення повітряного середовища важливе для виробництва біочару, через те, що процеси перетворення біомаси супроводжуються виділенням забруднюючих речовин, таких як дим, пил, гази та інші. Для забезпечення безпечного повітряного середовища слід використовувати ефективну систему вентиляції та відсмоктування газових сумішей, а також надавати особисті засоби захисту для працівників.

2. Теплозахист: У процесі виготовлення біочару можуть використовуватися піролізні печі або інші обладнання, які можуть виділяти значну кількість тепла. Працівники повинні мати належний захист від тепла, такий як захисні одяг, головні убори, рукавиці, щоб запобігти можливим опікам чи перегріванню. Та мати регульовані перерви в інших зонах, щоб знизити температурний вплив на організм.

3. Нормалізація параметрів мікроклімату для комфортних робочих умов в цехах виготовлення біочару необхідно впроваджувати для регуляції таких факторів впливу, як температура, вологість, швидкість руху повітря та інші. Важливо контролювати ці параметри та забезпечувати комфортні умови працівникам шляхом налагодження систем опалення, охолодження, зволоження та вентиляції.

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015	Арк
						46
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВОК

В дипломній роботі була розглянута проблема забруднення ґрунтів. Відповідно до даних наведених Міністерством екології та природних ресурсів України, загальна територія забруднених ґрунтів перетнула позначку в 15 мільйонів га, що складає 30% від всього земельного фонду України. Найбільшими проблемами земельних ресурсів – є надмірна розораність, деградація чорнозему та хімічне забруднення ґрунтів.

Для вирішення даних проблем були наведені методи регенерації ґрунтів, до таких методів належать внесення органічних та мінеральних добрив, компостування, внесення зеленої біомаси, захист від ерозійних процесів, обмеження землеробського впливу, біоремедіація ґрунтів, мульчування та метод агрофорест.

У розділі 2 був розглянутий цикл перетворення біомаси, який є основою вироблення біоенергетичних матеріалів. Відходи даного циклу, можуть бути використані як ефективне добриво для поліпшення стану сільськогосподарських земель, а саме продукт біочар. Біочар (biochar) — це збагачена сполуками вуглецю сировина, яку виробляють різними методами.

В роботі також наведений цикл виробництва та вимоги до оцінки та нормування біочарової продукції. Були визначені корисні властивості додавання біочару до ґрунту в якості органічних добрив, до них належать:

- збільшення поживної здатності ґрунту;
- покращення водоутримуючих властивостей;
- підвищення стійкості до ерозії;
- підвищення врожайності рослинних культур;
- поглинання важких металів;

Інв. №подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. №дубл.	Підп. і дата

ТС 19510015

Арк

47

Вип Арк № докум. Підп. Дата

- зв'язування вільного вуглецю, що надає продукту від'ємного вуглецевого сліду при використанні сільськими господарствами;
- підвищення резистентності до певних видів рослинних захворювань;
- покращення водневого показнику ґрунтів.

Враховуючи ці переваги, застосування біочару може бути корисним для ремедіації ґрунту та покращення його якості. До того ж, під час виробництва біочару синтез-газ (результат біологічного перетворення сировини) розглядається як джерело енергії, що дозволяє зменшити залежність від викопного палива.

Таким чином, виробництво та використання біочару забезпечує стійкий підхід до зменшення викидів парникових газів, зниження споживання викопного палива та регенерації уражених земель.

Інв. № подл.	Підп. і дата	Взаєм. інв. №	Інв. № дубл.	Підп. і дата				
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата	ТС 19510015			
					Арк 48			

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Герц, Ю., Конончук, О., & Герц, Н. Активність фотосинтетичного апарату *Miscanthus giganteus* при забрудненні ґрунту дизельним паливом. Вісник Тернопільського національного педагогічного університету. 2021. Серія: Біологія, 3(89), 115-123. URL:http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/26866/1/HERTs_KONONChUK_HERTs.pdf
2. Шуліпа, В., Гудзенко, Н., Колесник, О., & Холод, Ю. Вплив біоугару на родючість ґрунту, забрудненого важкими металами. Тези 10-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Актуальні проблеми гірничої інженерії", 2019, 193-197. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/26595/1/Tezy_Shulipa.pdf
3. Пилипенко, Л., Коваленко, С., & Римар, О. Біотехнології фітореMediaції ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Інноваційні технології та наукові рішення для промисловості, 2021, 2(1), 168-173. DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.2.23>
4. Кілевої, О. М. (2016). Ефективність застосування біоугару для поліпшення родючості ґрунту, забрудненого важкими металами. Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету, Київ, 2013, ст. 28-33.
5. Біоенергетика: Курс лекцій. Частина 1: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М. О. Будько. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,84 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 109 с.
6. Бунецький А. В. Біочар — Висококалорійне паливо та запорука великої врожайності! / А. В. Бунецький, О. М. Ганженко, М. В. Рої // агроенергетичні ресурси, 2018. 10 с.

Підп. і дата	
Інв. № дубл.	
Взаєм. інв. №	
Підп. і дата	
Інв. № покл.	

					ТС 19510015	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		
					49	

7. Нурмухаммедов А. К. Застосування біочару у сільському господарстві (огляд літератури) / А. К. Нурмухаммедов, О. М. Ганженко. // агроенергетичні ресурси, 2021. с. 19 – 21.

8. Холод, Ю., Гудзенко, Н., & Шуліпа, В. (2022). Використання біоугару для очищення ґрунту від радіонуклідів. Журнал управління довкіллям, 311, 114337. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114337>

9. Спосіб очистки ґрунту від важких металів та радіонуклідів. Пат. на винахід 58557 UA / Г.М. Ніковська, З.Р. Ульберг, Л.О. Коваль; опубл. 15.08.2003, Бюл № 8.

10. Стрес-толерантна трансгенна рослина пшениці. Пат. на винахід 90279 UA./ С. Макнейл, AU, Д. Чемберлейн, AU, Р. Боувер, NZ; опубл. 26.04.2010, Бюл.№ 8.

11. Спосіб детоксикації важких металів у системі ґрунт – рослина. Пат. на корисну модель 20299 UA. / А.І. Фатєєв, В.Л. Самохвалова; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.

12. British Біочар Foundation. 2013. Biochar Quality Mandate (BQM) v. 1.0: Version for public consultation, [cited Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. Article in press 15 12 September 2016]. Edinburgh, United Kingdom. Available from Internet: URL: <http://www.geos.ed.ac.uk/homes/sshackle/BQM.pdf>.

13. Solomon D, Lehmann J, Thies J, Schäfer T, Liang B, Kinyangi J, Neves E, Petersen J, Luizão F, Skjemstad J (2007) Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian Dark Earths. Geochim Cosmochim Acta 71:2285–2298. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.02.014>

14. 3Gabhane J, Tripathi A, Athar S, William SPMP, Vaidya AN, Wate SR (2016) Assessment of bioenergy potential of agricultural wastes: a case study cum template. J Biofuels Bioenergy 2:122. URL: <https://doi.org/10.5958/2454–8618.2016.00011.0.4>.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№поодл.	

					ТС 19510015		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			50

15. OluwatosinOginni, Kaushlendra Singh Effect of carbonization temperature on fuel and caffeine adsorption characteristics of white pine and Norway spruce needle derived biochars, *Industrial Crops and Products* 162(113261), Received 13 February 2020, Revised 6 January 2021, Accepted 10 January 2021, Available online 19 January 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113261>.

16. Zhaoa David, O’Connora, Junli Zhang, Tianyue Penga, Zhengtao, Shenac Daniel C. W. Tsangd Deyi Houa Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar, *Journal of Cleaner Production*, Volume 174, 10 February 2018, Pages 977–987, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.013>.

17. Wang, Jianlong, Wang, Shizong [Preparation, modification and environmental application of biochar: A review, *Journal of cleaner production*, Volume 227, 1 August 2019, Pages 1002–1022 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.282>.

18. Кондуктометричний біосенсор для визначення концентрації іонів важких металів у водних розчинах. Пат. на корисну модель 25456 UA./ О.О. Солдаткін, С.В. Дзядевич, О.П. Солдаткін, Г.В. Єльська, 2007, Бюл. № 12.

19. Агроекологічний препарат ”біокольчуга”. Пат. на корисну модель 26085 UA. / С.М. Абрамов, В.І. Сопельник; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.

20. Мультибіосенсор для визначення концентрацій токсичних речовин у водних розчинах. Пат. на корисну модель 27284 UA. / О.О. Солдаткін, В.М. Архіпова, С.В. Дзядевич, О.А. Назаренко, О.П. Солдаткін, Г.В. Єльська, О.С. Павлюченко, О.Л. Кукла; опубл. 25.10.2007, Бюл. № 18.

21. Гармаш С. М. Охорона праці та навколишнього середовища на станціях виробництва біогазу / С. М. Гармаш // ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Київ, 2015. 212 с. URL: <https://www.sworld.com.ua/simpoz10/15.pdf>.

Підп. і дата	
Інв.№дубл.	
Взаєм.інв.№	
Підп. і дата	
Інв.№поذل.	

					ТС 19510015		Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата			51

22. Закон України «Про пожежну безпеку». Затверджено Верховною Радою України від 05.07.2012, 2013, N 30, ст.340 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3745-12#Text>.

23. Закону України "Про охорону праці" (2694-12). Затверджено від 14.10.1992 № 2694-XII. Ст. 23. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.

Інв.№подел.	Підп. і дата	Взаєм.інв.№	Інв.№дубл.	Підп. і дата	ТС 19510015	Арк
						52
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		