

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра хімії і хімічної технології

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
\_\_\_\_\_ А.Д. Кустовська  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР  
за спеціальністю: 161 «Хімічні технології та інженерія»  
освітньо-професійної програми «Хімічні технології палива та  
вуглецевих матеріалів»

**Тема:** «Активоване вугілля з кукурудзяних качанів для охорони  
довкілля»

Виконавець: Андрєєва Тамара Валентинівна, група ХП-405 Б

Керівник: д.х.н., проф., Пузій Олександр Михайлович

Нормоконтролер: \_\_\_\_\_ Максимюк М.Р

КИЇВ 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій  
Кафедра хімії і хімічної технології  
Спеціальність: 161 «Хімічні технології та інженерія»  
ОПП «Хімічні технології палива та вуглецевих матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.Д. Кустовська

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на виконання кваліфікаційної роботи**

**Андрєєва Тамара Валентинівна**

1. Тема роботи: «Активоване вугілля з \_\_\_\_\_  
кукурудзяних качанів для охорони довкілля»

затверджена наказом ректора від 20.04.2022 р. №417/ст

2. Термін виконання роботи: з 23.05.2022 року по 19.06.2022 року

3. Вихідні дані до роботи: сільськогосподарські відходи, а саме  
кукурудзяні качани

2. Зміст пояснювальної записки:

Вступ. Розділ 1. Аналіз наукової літератури \_\_\_\_\_

Розділ 2. Дослідження одержання активованого вугілля з кукурудзяних качанів \_\_\_\_\_

Розділ 3. Результати дослідження \_\_\_\_\_

Висновки. Список бібліографічних посилань використаних джерел.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу 3 табл., 7 рис.

6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Одержання теми. Пошук та аналіз літератури за темою дипломної роботи.	23.05.2022	
2.	Опрацювання літературних джерел з даної теми	24.05.-27.05.2022	
3.	Вибір об'єктів та методів дослідження	28.05.-29.05.2022	
4.	Проведення експериментальних досліджень	30.05.2022	
5.	Обробка експериментальних даних	31.05.2022	
6.	Узагальнення матеріалу, оформлення дипломної роботи	1.06.2022	
7.	Підготовка доповіді та презентації.	1.06.2022	
8.	Захист дипломної роботи	15.06.2022	

Дата видачі завдання: 23 травня 2022 р.

Керівник дипломної роботи\_ д.х.н., проф.,

Завдання прийняла до виконання

Пузій О.М.\_\_\_\_\_

Т. Андрєєва

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи:

«Активоване вугілля з кукурудзяних качанів для охорони довкілля» :

містить 43 с. 7 рис. 3 табл., 36 літературних джерел.

**Об'єкт дослідження** отримано сільськогосподарські відходи, а саме кукурудзяні качани, які переробляють та отримують активоване вугілля.

**Метою роботи** є технології переробки відходів кукурудзяних качанів на активоване вугілля.

Для досягнення мети було сформульовано та вирішено наступні **завдання:**

- Проаналізувати призначення та напрямки практичного використання активованого вугілля;
- Розглянути синтез вуглецевих адсорбентів із нетрадиційної сировини та з відходів рослинного походження;
- Дослідити пористу структуру активованого вугілля;
- Вивчити метод аналізу активованого вугілля з лігно-целюлозної сировини;
- Дослідити адсорбційні властивості активованого вугілля отриманого з качанів кукурудзи;
- Розглянути використання дешевих адсорбентів для охорони довкілля.

### **Методи дослідження:**

- визначення синтез вуглецевих адсорбентів із нетрадиційної сировини та з відходів рослинного походження;
- визначення загальних характеристик пористої структури активованого вугілля.

В роботі досліджували використання активованого вугілля, одержаного шляхом карбонізації та активації матеріалів рослинного походження. У першу чергу, відходів переробки сільськогосподарської

продукції, а саме кукурудзяних качанів. Використовували аналіз наукової літератури та досліджували роботи, публікації вчених, присвячених утилізації сільськогосподарських відходів для одержання вуглецевих адсорбентів.

Результати дипломної роботи рекомендується використовувати під час проведення навчального процесу.

**Ключові слова в роботі:** АКТИВОВАНЕ ВУГІЛЛЯ, КУКУРУДЗЯНІ КАЧАНИ, КАРБОНІЗФЦІЯ, АКТИВАЦІЯ, СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ ВІДХОДИ, СИНТЕЗ ВУГЛЕЦЕВИХ АДСОРБЕНТІВ, ПОРИСТА СТРУКТУРА.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
<b>РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	
1.1. Призначення та напрямки практичного використання активованого вугілля .....	11
1.2. Основні сировинні джерела отримання активного вугілля	14
1.3. Синтез вуглецевих адсорбентів із відходів рослинного походження .....	19
1.4. Методи дослідження пористої структури активованого вугілля	21
<b>РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОДЕРЖАННЯ АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ З КУКУРУДЗЯНИХ КАЧАНІВ</b>	
2.1. Вивчення методу одержання активованого вугілля з лігніно-целюлозної сировини .....	25
2.2. Вплив сільськогосподарських відходів на довкілля в Україні...	27
2.3. Дослідження отримання активованого вугілля з відходів кукурудзи	29
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	
3.1. Порувата структура активованого вугілля отриманого з качанів кукурудзи .....	35
ВИСНОВКИ .....	37
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	39

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Значна кількість антропогенних забруднювачів потрапляє у воду, ґрунт і повітря та погіршує їх гігієнічний стан. Існує багато методів очищення навколишнього середовища, але простим і ефективним є адсорбція. Переваги цього методу полягає у простоті та ефективності видалення забруднювачів. Адсорбенти для охорони довкілля можуть бути отримані шляхом переробки сільськогосподарських відходів.

Одним із найкращих шляхів вирішення цих проблем може бути комплексне використання активованого вугілля, отриманого шляхом карбонізації та активації матеріалів рослинного походження, особливо відходів переробки сільськогосподарської продукції та харчової промисловості.

У світі щороку утворюється велика кількість рослинних відходів і побічних продуктів агробізнесу: насіння фруктових дерев, виноград, шкаралупа горіхів, відходи кукурудзи тощо. В Україні щороку утворюється велика кількість таких відходів: качани кукурудзи, ядра плодів дерев, виноград, шкаралупа горіхів тощо. Основним способом їх переробки є спалювання, яке не тільки забруднює навколишнє середовище, а й унеможлиблює отримання нових цінних продуктів. Фактично це вимагає зростання розвитку науково-дослідних робіт щодо утилізації таких відходів, наприклад шляхом карбонізації та виробництва активованого вугілля.

Подібні проблеми не менш актуальні і в інших частинах світу, про що свідчить велика кількість публікацій щодо утилізації сільськогосподарських відходів для виготовлення активованого вугілля.

Роботи, проведені науковими колективами під керівництвом проф. Григорчака І.І., Остафійчука Б.К. (Україна), Центено Т.А.(Італія), Іоанідоу

О. (Греція) [3] показали, що потенціальні можливості наноструктурованих вуглецевих матеріалів, синтезованих з рослинної сировини, є не лише надзвичайно високими, але часто переважають матеріали, одержані за традиційною технологією з хімічної сировини, за екологічними, економічними та якісними показниками.

Недоліком основних способів одержання активованого вугілля є висока зольність і низька сорбційна активність отриманого вугілля. Тому методи отримання біологічної сировини виходять на перший план у технологічних процесах.

Для модифікації найчастіше використовуються різні кислоти та термічну обробку при підвищених температурах у контрольованих атмосферах. Однак такі процеси модифікації є енергоємними та небезпечними для навколишнього середовища.

Тому набагато перспективнішими є безреагентні методи впливу речовини. Серед них провідне місце займають ультразвукові технології (УЗ), оскільки УЗ-вібрації активно впливають на процеси тепло масообміну в рідинах, структуру, фракційний склад і властивості твердих тіл, а також швидкість і якість хімічних реакцій.

**Метою роботи** є розробка технології одержання активованого вугілля шляхом переробки сільськогосподарських відходів – відходів кукурудзяних качанів.

Для досягнення мети було сформульовано та вирішено наступні **завдання:**

- Розглянути призначення та напрями практичного використання активованого вугілля;
- Розглянути основні сировинні джерела отримання активованого вугілля;
- Розглянути синтез вуглецевих адсорбентів із нетрадиційної сировини та з відходів рослинного походження;
- Дослідити пористу структуру активованого вугілля;



- Розглянути методи отримання активованого вугілля з відходів лопуцьків качанів;

- Розглянути вплив сільськогосподарських відходів на довкілля в Україні.

**Об'єкт дослідження** обрано сільськогосподарські відходи, а саме кукурудзяні качани, які переробляють та отримують активоване вугілля.

**Предмет дослідження** є вивчення хімічної природи адсорбенту, який отримано з кукурудзяних качанів, для очищення навколишнього середовища.

**Методи дослідження:**

- визначення синтез вуглецевих адсорбентів із нетрадиційної сировини та з відходів рослинного походження;

- визначення загальних характеристик пористої структури активованого вугілля.

**Наукова новизна:**

- досліджено, що сільськогосподарські відходи шляхом карбонізації можна утилізувати й отримати новий продукт у вигляді активованого вугілля.

- розглянути розроблену методику комплексного вивчення синтезу вуглецевих адсорбентів із нетрадиційної сировини та з відходів рослинного походження.

- визначені важливі фізико-хімічні характеристики перспективного сорбенту для збереження навколишнього середовища.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає:

- у можливості переробки кукурудзяних качанів у вуглецевий адсорбент – активоване вугілля. При цьому зменшується об'єм утворення сільськогосподарських відходів та отримується новий продукт.

- у оптимальному способі комплексного використання активованого вугілля, одержаного внаслідок карбонізації та активації

матеріалів рослинного походження і, у першу чергу, переробки відходів сільськогосподарської продукції.

**Особистий внесок здобувача** – виконанні теоретичні дослідження, які викладені у дипломній роботі, включаючи постановку цілей та завдань дослідження, безпосередньої участі у їх проведенні, аналізі та узагальненні результатів, формулюванні обґрунтованих висновків.

**Структура та обсяг дипломної роботи.** Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, вісьми підрозділів, висновків, списку бібліографічних посилань використаних джерел та списку скорочень.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Призначення та напрямки практичного використання активованого вугілля

В даний час споживачі відчувають дефіцит якісних вуглецевих адсорбентів з високою адсорбційною здатністю. Структура споживання активованого вугілля розглянута в огляді. Основними споживачами вуглецевих адсорбентів є виробництво харчових продуктів (42%), технологічне використання (38%) та охорона навколишнього середовища (10%). В роботах [1,2] розглянуто сфери застосування активованого вугілля, приділяючи особливу увагу процесам депірогенізації розчинів та очищення води, хімічному синтезу, видобутку золота та ряду інших дорогоцінних металів та ін. [3].

Крім традиційного споживання активованого вугілля, останнім часом широко використовується у виробництві суперконденсаторів і акумуляторів. Технічні характеристики суперконденсаторів і батарей багато в чому визначаються показниками якості використовуваних для цих цілей вуглецеві адсорбенти.

Традиційне призначення вуглецевих адсорбентів - очищення газоподібних і рідких середовищ в різних технологічних процесах. Наприклад, активоване вугілля дуже важливе в синтезі ліків, у тому числі антибіотиків. Рідкі середовища, в яких відбуваються процеси отримання цих препаратів, зазвичай піддають глибокій адсорбційній очистці перед кінцевою стадією їх відділення від розчинів і подальшого виготовлення лікарських форм.

У всіх розвинених країнах світу процеси очищення питної води потребують величезних кількостей активованого вугілля різної якості. Це порошкоподібний активоване вугілля яке використовується на кінцевій стадії тонкого остаточного очищення води від різних домішок.

У зв'язку із посиленням вимог до скиду стічних вод у водойми виникає проблема глибокого очищення фізико-хімічними методами. Адсорбційні процеси з використанням ЛП широко використовуються для очищення стічних вод. Термін «доочистка» відноситься до методів і процесів, які доповнюють традиційні технологічні схеми очищення стічних вод даного складу. Через широке застосування біохімічної очистки загальних потоків стічних вод, первинне доочищення зазвичай вважають механічним доочищенням.

Під час очищення можливий будь-який необхідний і досяжний ступінь видалення або знищення забруднюючих речовин. Використання сорбції на активованому вугіллі дає можливість видалити з води більше 80% забруднюючих речовин.

Для очищення рідин підходять як гранульоване, так і порошкове активоване вугілля. Гранульоване активоване вугілля в основному використовується безперервних процесах, а порошкоподібне вугілля більше підходять для періодичних процесів.

Щоб забезпечити кращий контакт середовища з порошкоподібним вугіллям, процес часто проводять при сильному перемішуванні. Найпростішим способом відокремлення адсорбенту від рідкої фази є відстоювання, але його рідко використовують через тривалість процесу. Цей метод найчастіше використовується для очищення вин та іншої алкогольної продукції [4]. Через ці труднощі найчастіше використовується фільтрація через шар гранульованого вугілля.

При очищенні вин використовується тільки порошкоподібне активоване вугілля, оскільки в цьому випадку необхідно уникати навіть короткочасного контакту продукту з великою кількістю вугілля. У

багатьох процесах хімічної промисловості речовини перекристалізують шляхом обробки активованим вугіллям.

Активоване вугілля все частіше використовується для обробки води. Як і в більшості європейських країн, станція водопостачання в Хамі з 1925 року використовує гранульоване-активоване вугілля для очищення питної води. Цукрова промисловість також використовує кісткове або деревне вугілля у формі гранул для освітлення сиропів і очищення цукру. Такі технології найбільш поширені у США [5].

Активоване вугілля широко використовується для дезодорації харчових олій і жирів, що є найважливішим при рафінуванні. Для цього використовують дрібнозернистий порошок активованого вугілля парогазової активації. Гранульоване активоване вугілля використовується лише у виняткових випадках, наприклад, при дезодорації талової олії [4].

Багато хімічних речовин, домішок барвника, що надходять у продукт із сировини або виникають у процесі виробництва, можна видалити за допомогою використання активованого вугілля.

Активоване вугілля набагато частіше використовується для очищення природних органічних сполук, ніж неорганічних. Незважаючи на всі вдосконалення технології перегонки, гліцерин, що утворюється під час розкладання жиру у виробництві мила, все ще доводиться обробляти активованим вугіллям у сирому стані, особливо на кінцевій стадії. Для цього використовується порошкоподібне активоване вугілля, оскільки воно часто вимагає дуже високого ступеня очищення у виробництві харчових продуктів, фармацевтичних та лікарських засобів, косметики [2].

Для отримання нітрогліцерину використовується дуже чиста сировина. Тому до активованого вугілля, що використовується у виробництві, пред'являються високі вимоги. Це стосується, наприклад, вмісту мінеральних компонентів, оскільки гліцерин може розчиняти неорганічні солі, а використовуваний адсорбент не повинен мати окисної

дії на гліцерин і, отже, не повинен містити поверхневих кисневмісних сполук[6].

Порошкоподібне активоване вугілля широко використовується для очищення желатину та пектину [7]. Однак процес очищення може бути складним через високу в'язкість продуктів, що очищаються. Крім того, через високі вимоги до харчових продуктів і низьке споживання деревного вугілля, желатину та пектину, процеси очищення можуть бути багаторазовими [5].

Кофеїн, який отримують шляхом екстрагування кавових зерен або чаю метилхлоридом, необхідно очистити від домішок з допомогою активованого вугілля перед його використанням у фармацевтичній промисловості або у виробництві безалкогольних напоїв [8].

Ряд інших отриманих біосинтезом органічних речовин, таких як антибіотики, такі як пеніцилін, стрептоміцин, неоміцин та інші, також після процесу синтезу необхідно очищати активованим вугіллям.

## **1.2. Основні сировинні джерела отримання активного вугілля**

Доступність сировини, що використовується при виготовленні активованого вугілля, робить його багатим і відносно недорогим. Деякі сільськогосподарські та промислові відходи були використані для виготовлення активованого вугілля. Одним з таких відходів сільського господарства є кукурудзяні качани.

Фізико-хімічні властивості активованого вугілля залежать від багатьох факторів, зокрема: використовуваної сировини, процесу активації та параметрів цього процесу [2, 3]. Активоване вугілля можна одержувати різними способами, але спільним для усіх методів є нагрівання. Звичайним видом нагрівання, як правило, є електрична піч для вироблення тепла для виробництва активованого вугілля [4, 5]. Цей процес займає багато часу. Для досягнення необхідного рівня активації може знадобитися від кількох

годин до тижня. Крім того, поверхневий нагрів не обіцяє однакових температур для різних форм і розмірів зразків.

Таким чином, можна отримати тепловий градієнт від гарячої поверхні печі до ядра частинки зразка. Цей градієнт температури впливає на якість активованого вугілля [6]. Існує також значний ризик перегріву зразка, що призводить до повного згоряння вуглецю [7]. Останнім часом для забезпечення електричного струму широко використовується мікрохвильова технологія, яку можна використовувати для одержання та регенерації активованого вугілля [1]. Основна відмінність звичайних систем нагрівання від мікрохвильових печей – це схема нагрівання. Крок активації бажаний для покращення продуктивності струму.

Існує багато різних активуючих агентів, таких як гідроксид натрію, гідроксид калію, сірчана кислота, фосфорна кислота тощо, які можна використовувати для хімічної активації. Зміна цих властивостей контролює пористість та розподіл об'єму пор у вугіллі [8], [9], [10].

Очищення стічних вод різних класів барвників можна проводити за допомогою адсорбційного методу, який є одним з найбільш ефективних методів. Тому дороге комерційне активоване вугілля зараз широко використовується як найкращий адсорбент. [11, 12].

Багато дослідників вивчали використання недорогих альтернативних матеріалів, таких як лушпиння перлового проса, фінікові ядра, тирса, ядра кокосового горіха, шкаралупа мигдалю, соснова кора, відходи деревини, тощо, як вуглецевмісні попередники для отримання активованого вугілля.

### **1.3. Синтез вуглецевих адсорбентів із відходів рослинного походження**

Важливий внесок у процеси адсорбції вносять такі властивості адсорбентів, як пориста структура, їх хімічна природа поверхні та розмір

питомої поверхні. Такі властивості відіграють важливу роль у вирішенні проблем погіршення екологічної ситуації, необхідності комплексного очищення питної води та стічних вод, очищення газових викидів, розвитку нанотехнологій з використанням високопористих матеріалів, а також покращення енергетичних та експлуатаційних характеристик обладнання.

Для вирішення будь-якої практичної проблеми адсорбції або проблеми електропостачання необхідно розробити нові підходи та процеси виробництва промислових адсорбентів і матеріалів з розвиненою поверхнею. Тому дослідження поверхні та структури твердих адсорбентів має велике науково-технічне значення [11].

Структура споживання активованих вуглецевих матеріалів за даними роботи [12], характеризується наступними показниками (у %):

- виробництво харчових продуктів 42,6 %
- технологічне використання 38,0 %
- охорона довкілля 10,0%
- очищення питної води 4,7%
- виробництво медичних препаратів 4,7%

Серед перспективних сорбентів слід виділити наноструктуровані вуглецеві матеріали, які отримують термоокислювальною рослинною сировиною. Як сировину використовують різні породи деревини, торф і торфовий напівкокс з низьким вмістом золи, викопне вугілля різного ступеня метаморфозу (буре, чорне, антрацит), напівкокс і кокс на його основі, солома, очерет, рис і лущиння соняшнику та інші вуглецевмісні матеріали.

При карбонізації та активації вуглецевмісних матеріалів отримують різні види вугілля, кожен з різним вмістом поверхневих груп та різним ступенем прожарювання та різним розподілом об'єму пор за розмірами. Недоліком основних методів активації є втрати при згорянні значної частини вихідної вуглецевої сировини, а також складність управління властивостями отриманого вугілля.



Тому в першу чергу в технологічних процесах, крім дешевизни та екологічності, починають розвиватися методи модифікації вже отриманих вуглецевих матеріалів [3-5].

Найбільш часто проводять хімічну та фізичну активацію карбонізованих матеріалів [6]. Хімічну активацію проводять у присутності таких хімічних реагентів, як сульфат калію, фосфорна і сірчана кислоти, хлорид цинку та ін. Фізична активація відбувається в присутності газоподібних окиснювачів. Найчастіше це водяна пара, вуглекислий газ або кисень. Незважаючи на відмінності в механізмах дії різних окиснювачів, результати можуть бути подібними для однакового ступеня активації.

Основна мета карбонізації - максимізувати вміст вуглецю, видалити леткі компоненти і тим самим отримати матеріал з високою питомою поверхнею і великою кількістю пор. Термодинамічний аналіз піролізу вуглецевих матеріалів дозволяє виділити наступні групи процесів і механізмів [7]:

- реакції крекінгу та дегідрування неароматичних молекул;
- циклізація вуглеводневих ланцюгів з  $n > 6$  в ароматичних сполуках з розривом бічних ланцюгів;
- поліконденсація ароматичних утворень у більш стабільних поліядерні арили

Ці реакції накопичують плоскі утворення шестикутників — структурних елементів графену. При цьому реакції супроводжуються виділенням газоподібних побічних продуктів, які включають частину вуглецю сировини. [7]

Продукти термічного розкладання рослинної сировини взаємодіють між собою та з поверхнею вугілля і утворюють вторинні продукти, які в свою чергу зазнають змін у результаті розкладання або реакції з іншими елементами. Все це значно ускладнює процес перетворення сировини в кінцеві продукти піролізу. До рідкої фази входять майже всі класи

органічних сполук – спирти, кетони, прості та складні ефіри, феноли, різні ароматичні та інші сполуки [8].

Основними процесами, що відбуваються в інтервалі температур 400–700 °С, є ароматизація з виділенням водню та конденсація фрагментів C4 у «вуглецевий полімер». Конденсація C4 може відбуватися за двома механізмами: вздовж і впоперек нової структури. Під час полімеризації вздовж структури фрагменти C4 об'єднуються, утворюючи ланцюг, в якому утворюються графітоподібні шари. Також у разі перехресної полімеризації з'єднання фрагментів утворюють ланцюг, що росте в поперечному напрямку. Взаємодія сусідніх ланцюгів створює нові шари [9].

При підвищенні температури карбонізації до 950 °С збільшуються розміри мікрокристалітів, з'єднання яких є результатом наявності ароматичних конденсованих систем. Іншим наслідком цього процесу є зменшення відстаней між графітоподібними шарами, що приводить до ущільнення структури твердих залишків піролізу. Подібний характер спостерігається, коли вугілля піддається впливу тривалої витримці вугілля при температурі закінчення піролізу [10].

Згідно з результатами роботи [11], оптимальний час витримки для термічної обробки становить 1 годину. Існує відмінність як структурних, так і текстурних властивостей активованого вугілля, отриманого із зразків целюлози, навіть з однаковим хімічним складом. Ще складнішими є процеси карбонізації за однакових умов рослинної сировини різного типу. Різниця полягає в складі 22 продуктів, що виділяються в результаті піролізу і присутніх в карбонізованому зразку, і структурних властивостях карбонату. Існує два способи формування пористої поверхні вуглецевих матеріалів [12]:

- хімічна активація;
- фізична активація.

Хімічна активація передбачає просочення хімічними агентами, переважно кислотами наступним нагріванням в потоці азоту в інтервалі температур 450–900 °С залежно від типу використовуваного агента [12–14].

Карбонізація та активація відбуваються одночасно, і процес дає змогу отримувати матеріали з розвиненою поверхнею та мікропорами певного розміру. З цієї причини ці матеріали є бажаними для використання в рідко фазних процесах.

Температура під час хімічної активації нижча ніж при фізичному активуванні, але застосування процесу хімічної активації ускладнюється утворенням великих обсягів газоподібних і рідких відходів, які містять токсичні компоненти, що вимагає додаткових витрат на природоохоронні заходи та потреби в додаткових промивання отриманих вуглецевих адсорбентів. Необхідність застосування таких заходів спричиняє підвищення собівартості кінцевого продукту.

З метою екологічної безпеки широке застосування знайшов метод фізичної активації. Фізична активація - це процес перетворення попередника в активоване вугілля шляхом карбонізацій та активації.. Цей процес відбувається в два етапи. Карбонізація є першою стадією, в результаті якої відбувається утворення звичайного непористого вугілля шляхом піролізу попередника в інтервалі температур 600-900 °С в інертній атмосфері.

Активація - це другий етап, що включає взаємодію вуглецю з окисними газами, такими як  $\text{CO}_2$  в інтервалі температур 600-1200 °С, що приводить до видалення більш неупорядкованого вуглецю та утворення добре розвиненої мікропористої структури [17].

Слід додати, що молекули води з великим дипольним моментом, найменшим кінетичним діаметром і високою швидкістю легко проникають в мезопори вуглецевого матеріалу і відповідно сприяють розвитку мікропор краще, ніж активація чистим вуглекислим газом або киснем.

Оптимальна температура ізотермічної експозиції 850-950 °С [10-12].  
Взаємодія може бути представлена рівнянням [12]:



(1.1)

Водяна пара безперервно надходить на поверхні піор, а леткі продукти (CO і H<sub>2</sub>), що утворилися, видаляються із зони реакції.

У роботі [15] передбачається, що більшість моделей газифікації вугілля залежать від двох факторів, які визначають швидкість процесу в кінетично керованому режимі: хімічного та структурного. Хімічний фактор залежить від типу окиснювача, тиску, температури та взаємодії вуглецевої матриці.

Структурний фактор - пористість, площа поверхні, розподіл пір за розмірами. Тому вплив цих факторів на кінетику активації можна аналізувати окремо та незалежно.

Аналізуючи результати виробництва активованого вугілля із відходів сільського господарства, можна стверджувати, що мікроструктура залежить від складу сировини, тобто вмісту лігніну та целюлози. Активоване вугілля з лігніну має більший загальний об'єм пор у порівнянні з вугіллям целюлоз. [16] Результати роботи [17] показують, що лігнін є основним фактором високого по виходу вуглецю, тобто є основним компонентом для синтезу активованого вугілля.

У роботі [18] проведено аналіз багатьох видів біомаси, в результаті чого вибір сировини має значний вплив на кінцевий продукт. Аналіз роботи [19], показує, що активувати вугілля, отримане з матеріалу, що містить велику кількість целюлози, легше, ніж деревне вугілля, що містить велику кількість лігніну. Основним фактором при аналізі була швидкість активації обох видів вугілля. Значення площі поверхні активованого вугілля та пористості були вищими для матеріалу з високим вмістом лігніну, ніж для вуглецевого сорбенту з целюлоз.

#### 1.4. Методи дослідження пористої структури активованого вугілля

Активоване вугілля є різновидом мікрокристалічного вугілля. Як в масі, так і на поверхні основним структурним елементом активованого вугілля є компонент кристалічної решітки графіту – системи конденсованих ароматичних кілець [20].

У цій системі кожен атом вуглецю має три валентних електрони, зв'язані з сусідніми атомами міцними, повністю насиченими  $\sigma$ -зв'язками, а четвертий  $\pi$ -електрон делокалізований і вільний для переміщення через систему зв'язаних зв'язків. Активоване вугілля має неупорядковану шарувату структуру, що характеризується відсутністю строгого тривимірного порядку розташування елементарних шарів. Розмір мікрокристалітів графітоподібного вуглецю залежить від умов синтезу і становить 2–2,5 нм (довжина) і 1,3 нм (висота).



Рис. 1.4.1. Зміна структури вугілля при його активуванні  
Мікрокристаліт може містити 3–4 паралельних шарів графітоподібного вуглецю, які, на відміну від графіту, неупорядковані один відносно одного. Значення відстані між шарами непостійне і коливається від 0,34 до 0,37 нм [7, 21]. Хімічний склад активованого вугілля насамперед характеризується вмістом в ньому вуглецю, який становить 75-95%.

До складу активованого вугілля також входять кисень, водень, азот, а також мінеральні компоненти, які є зольним залишком активованого вугілля після повного згоряння в кисневмісній атмосфері. Додатковими компонентами активованого вугілля можуть бути інші елементи, що вводяться в технологічний процес при хімічній активації або при отриманні кінцевого продукту, наприклад, калій, цинк тощо.

Детальний аналіз хімії поверхні різних видів вуглецевих матеріалів для подальшого порівняння з їх електрохімічними властивостями в даний час не представляється можливим, головним чином через надзвичайно складний характер впливу різних факторів (тип сировини, технологія виробництва, тип подальшої обробки). активація або графітізація). та ін.) на хімічну структуру поверхні різних форм вуглецевих матеріалів.

Відомо, що активоване вугілля характеризується найширшим діапазоном електронних станів атома вуглецю порівняно з іншими перехідними формами вуглецю. Тому можна вважати, що в першому наближенні дані про поверхневі хімічні сполуки активованого вугілля дають найбільш загальну картину хімії поверхні вуглецевих матеріалів.

Розірвані зв'язки на поверхні вуглецю можуть зв'язувати ряд елементів: кисень, водень, сірку, галогени, азот тощо, утворюючи міцні поверхневі сполуки. Утворення кисневмісних поверхневих сполук відбувається як при синтезі й активації вугілля, так і при адсорбції молекулярного кисню поверхнею активованого вугілля. Залежно від типу вуглецевого матеріалу максимальний вміст кисню становить 0,5~3 ммоль/г вугілля.

В даний час прийнято поділяти широкий спектр кисневмісних сполук на поверхні вуглецевих матеріалів на дві групи. Основні оксиди утворюються вугіллі, яке звільняється від поверхневих сполук шляхом відпалу при 900-1000 °С у вакуумі або в інертній атмосфері після контакту з киснем при низьких (до 100 °С) температурах.

Так вугілля адсорбує кислоту з розчину в присутності кисню. Кислі поверхневі оксиди утворюються при обробці вугілля киснем при температурах 300-400 °С. Таке вугілля поглинає луг з розчинів.

У випадку повністю окисненого вугілля кислотні поверхневі групи визначають шляхом нейтралізації розчинами різної основності:



При цьому вважається, що  $\text{NaHCO}_3$  нейтралізує карбоксильні групи,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – карбоксильні і лактонні, а  $\text{NaOH}$  – фенольні, карбоксильні і лактонні. При взаємодії кисню з подрібненим у вакуумі графітом утворюються карбоксильні, гідроксильні, пероксидні та карбонільні групи у співвідношенні 12: 4: 1: 2. Крім того, частина поверхневих кисневмісних груп може утворюватись при кисню може бути притягнута дефектами в базальних площинах з високою концентрацією  $\pi$  електронів.

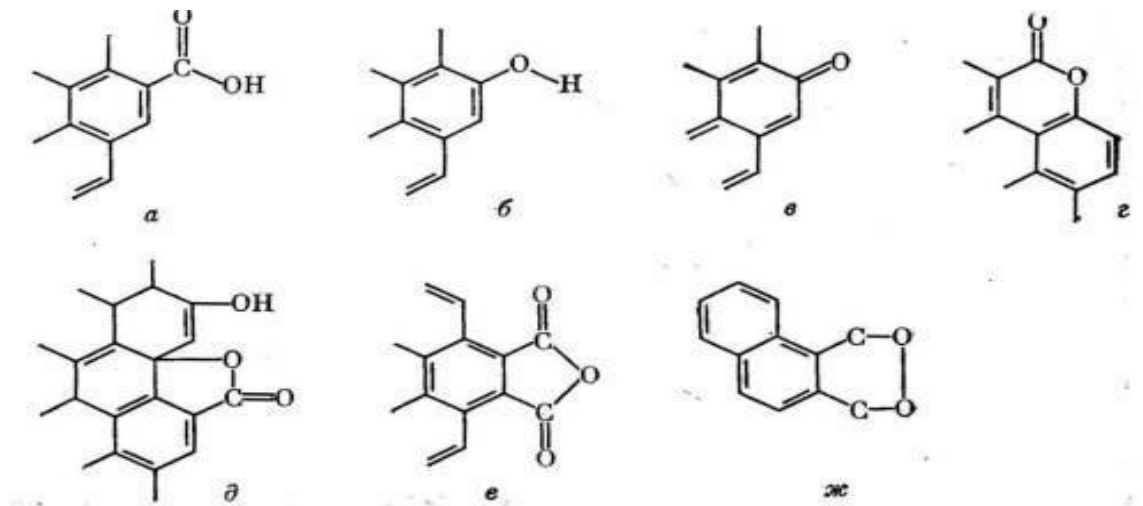


Рис. 1.4.2. Кисневмісні поверхневі групи

а - карбоксильна;

б - фенольна;

в - карбонільна хінонного типу;

г - лактонна;

д-лактонна флуоресцентного типу;

е- кисла карбоксильна;

ж- циклічна переоксидна група.

Більшість промислових типів активованого вугілля виготовляється з викопного вугілля або мазуту, запаси яких поступово зменшуються, а собівартість виробництва постійно зростає. Інша проблема полягає в тому, що сфера застосування активованого вугілля дуже широка, тому розрив між попитом і пропозицією збільшується.

Сучасна ситуація вимагає розробки нових підходів і методів виробництва промислових адсорбентів і матеріалів з розвиненою поверхнею. Попит на активоване вугілля зростає завдяки його ефективному використанню як матеріалу для видалення різних видів забруднень.

Наслідком цього є збільшення вартості активованого вугілля, тому метою є отримання вуглецевого адсорбенту як легкодоступного, недорогого, малозольного матеріалу. У багатьох країнах світу сьогодні відчувається дефіцит доступної малозольної сировини, з якої можна отримати якісне активоване вугілля. Виробництво активованого вугілля зростає у зв'язку з загостренням екологічних проблем та застосуванням у нових областях.

Альтернативним рішенням здешевлення активованого вугілля є виробництво з рослинної сировини, переважно відходів сільськогосподарської переробки та харчової промисловості.



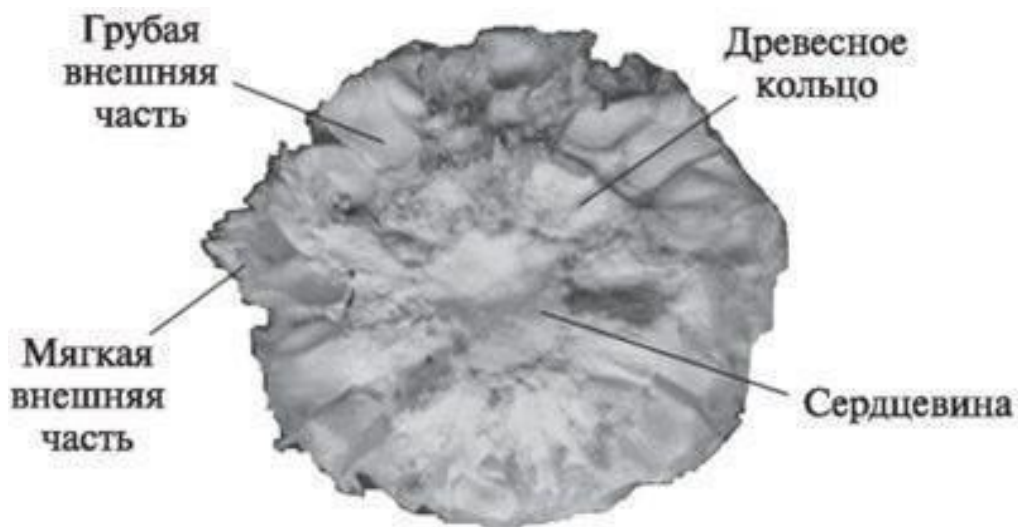
## РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОВЕДЕНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

### 2.1. Вивчення методу отримання активованого вугілля з лігно-целюлозної сировини

Джерелом сировини для отримання сорбційних матеріалів можуть служити тверді відходи рослинництва, а саме кукурудзяні качани (лопуцьки). Рослинні відходи можуть стати заміниками багатьох матеріалів, не тільки за рахунок оновлення ресурсів, але і завдяки тому, що за структурою вони мають комплекс властивостей, завдяки яким з них виходять практично ті ж матеріали, що і з вугілля, нафти і газу. [26]

При збиранні та переробці кукурудзи щорічно утворюються мільйони тонн відходів (стрижні качанів, стебла, солома і т.д.), які легко збираються та придатні для різних цілей.

Було розглянуто дослідження в якому описано використання кукурузних качанів як адсорбент для очищення модельних розчинів барвника марки «метиленовий блакитний» (МГ). Поперечний зріз кільця кукурудзяної качан представлений на рис.2.1.1.



## Рис. 2.1.1. Поперечний зріз кільця кукурудзяного качана

Для дослідження кукурудзяні качанчики подрібнювали до розмірів менше 620 мкм. Вологість використовуваного матеріалу склала 15,8%, хімічний склад окремих частин кукурудзяних качан за [27] представлений у табл. 2.1.2

Таблиця 2.1.2.

Матеріал	Компоненти, %				
	Загальна зола	Целюлоза	Геміцелюлоза	Лігнін	Екстрактивні
Подрібнені кукурудзяні качан	0,68	34,71	35,68	21,04	7,89
Дерев'яне кільце з серцевиною	0,27	36,39	40,73	16,62	5,99
М'яка губчаста складова зовнішньої частини качан	0,95	34,03	33,61	21,68	9,73

Після закінчення контакти модельного розчину > ІКК вміст лабораторної ємності фільтрували, у фільтраті визначали залишкову концентрацію МГ фото колориметричним способом.

Ефективність очищення розраховували за такою формулою:

$$E = (C_n - Z_{до}) / C_n * 100\%$$

Залежності ефективності очищення від маси ІКК, що додаються, і тривалості контакту останніх з модельним розчином представлені на рис.2.1.3

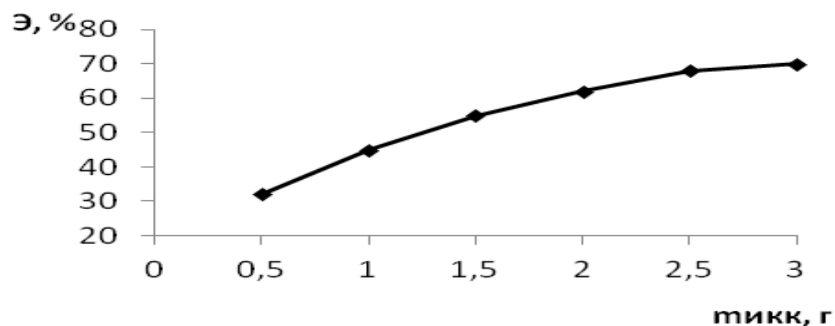


Рис.2.1.3. Залежність ефективності очищення модельного розчину МГ від маси добавки ІЧК. Тривалість контакту 15хв.

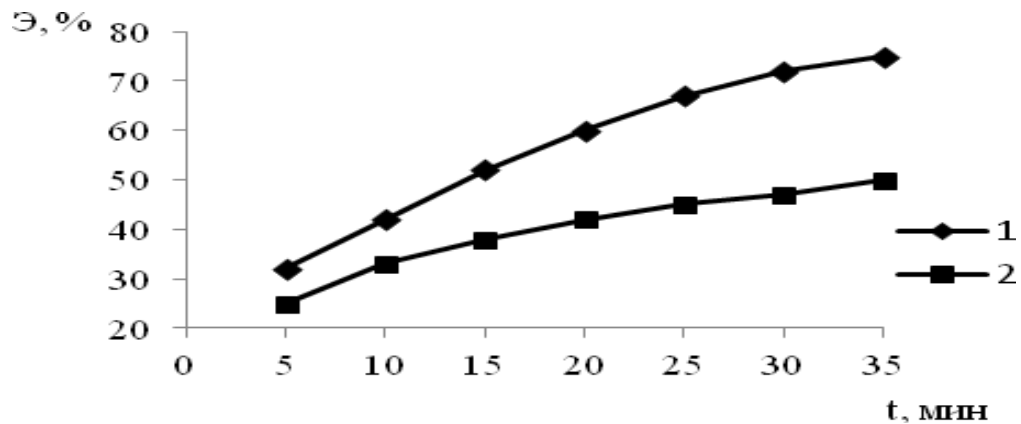


Рис.2.1.4. Залежність ефективності очищення модельного розчину МГ від інтенсивності перемішування: 1 – маса добавки ІЧК 2,5 г на 100 мл розчину, 2 – маса добавки ІЧК 1,0 г на 100 мл розчину

З одержаних результатів очевидно, що ефективність очищення підвищується зі збільшенням маси добавки сорбційного матеріалу та тривалості контакту ІЧК з модельними розчинами. Оптимальними параметрами процесу слід вважати масу ІЧК, що додається 2,5 г на 100 мл модельного розчину та тривалості контакту 35 хв. Досяжна при цьому ефективність очищення становить 77%.

Таким чином, розглянуте дослідження стосовно подрібненого рослинного відходу можна вважати ефективним для використання його як сорбційний матеріал, а пропонований спосіб очищення забарвлених водних середовищ - перспективним.

## 2.2. Дослідження отримання активованого вугілля з відходів кукурудзи

Кукурудза займає третє місце за площею посівів в Україні. Однак більша частина врожаю, відома як кукурудзяна солома, в результаті утилізується або спалюється.

Активоване вугілля є обвугленим біологічним матеріалом, який був оброблений для створення мільйонів мікроскопічних пір, які мають поглинальну властивість. Активоване вугілля застосовують в промисловій галузі, найпоширенішим використанням є фільтрація забруднюючих речовин з питної води.

Кандіс Леслі Абдул-Азіз, асистент професора хімічної та екологічної інженерії в інженерному коледжі імені Марлана та Розмарі Борнс при Каліфорнійському університеті, керує лабораторією, яка займається поверненням в економіку шкідливих відходів, таких як пластик і рослинні відходи, відомі як біомаса, шляхом їх переробки на цінні товари.

Кандіс Леслі Абдул-Азіз, доцент кафедри хімічної та екологічної інженерії в Каліфорнійському університеті керує лабораторією, яка присвячена поверненню в економіку різних продуктів, які зазвичай просто викидаються та забруднюють планету – наприклад, пластик або рослинні відходи.

Вчений разом зі своєю командою виявили, що відходи врожаю кукурудзи можна використовувати як чудовий фільтр для очищення води. Дослідники і раніше використовували їх як фільтр, але для підготовки матеріалу використовували більш тривалий процес повільного піролізу.

Нове біовугілля створюється набагато швидше завдяки гідротермальній карбонізації — обробці кукурудзяної соломи гарячим стислим струменем води під великим тиском. У такий спосіб фільтр стає більшим і має більші пори, що збільшує очищення води від ваніліну до 98%.

Завдяки дослідженням характеристикам пористої структури та сорбційних властивостей активованого вугілля (АУ), отриманого з лопуцьків кукурудзи шляхом хімічного активування з використанням  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Показано, що питома поверхня по БЕТ для АУ з кукурудзяних качан досягає майже  $1500 \text{ м}^2/\text{г}$ . Переробка лігноцелюлозних відходів

дозволяє отримувати високо пористе вугілля з високою селективністю по відношенню до техногенних забруднювачів.

Отже, пошук застосування неактивних ресурсів, таких як кукурудзяні лопуцьки, є хорошою сировиною у боротьби зі зміною клімату. Адже переробка відходів додає цінність в сільськогосподарській галузі, через те що з відходів кукурудзи можна отримати новий продукт у вигляді активованого вугілля, який допоможе очистити навколишнє середовище.

### **2.3. Вплив сільськогосподарських відходів на довкілля в Україні**

Сільське господарство в Україні за 2018 рік склало приблизно 10,3% від ВВП країни і близько 13% робочої сили (за винятком сільських домогосподарств) працює в цьому секторі. Землі сільськогосподарського призначення охоплюють більше 70% території країни, і з них близько 69% є продуктивними землями сільськогосподарського призначення. Це 32,5 млн га ріллі, решта - сільськогосподарські угіддя, пасовища, луки, постійні посадки і т.д.

Клімат України являється сприятливим для великомаштабного сільського господарства. Крім того, країна має родючі сільськогосподарські ґрунти і суттєві земельні і водні ресурси. Ґрунт більш ніж половини сільськогосподарських земель складається з чорнозему, який, завдяки високому відсотковому вмісту гумусу (від 3% до 15%), фосфорної кислоти, фосфору і аміаку є одним з найбільш родючих ґрунтів по всьому світу. Україна володіє понад 25% чорнозему світу.



Рис.2.4.1 Валова продукція сільського господарства по регіонах України (2020)

Важливо відзначити, що, починаючи з 1 січня 2017 року, Україна не буде використовувати акти санітарного законодавства, видані органами виконавчої влади Української РСР і Радянського Союзу. На веб-сторінці державного підприємства по стандартизації вказано, що дія тих частин документів, які не мають відношення до сучасного стану і є непотрібними, буде припинена.

Сучасні державні стандарти, які ідентифікують терміни та визначення, регулюють процедуру найменування, а також визнають передачу даних про відходи, наведені в таблиці нижче:

Таблиця 2.4.1

Сучасні державні стандарти у сфері поводження з відходами

№	Name	Enacted/ Effective as of
ДСТУ – 4462.0.01:2005	The Nature Conservancy. Waste management. Terms and definitions.	First time/ 2006-07-01
ДСТУ – 4462.0.02:2005	The Nature Conservancy. Complex of standards in the field of waste management.	First time/ 2006-07-01

ДСТУ 4462.3.01:2006	Environmental protection. Waste management. Procedure for of operations	First time/ 2007-07-01
ДСТУ 4462.3.02:2006	Environmental protection. Waste management. Packaging, labeling and disposal of waste. Rules of transportation of waste. General technical and organizational requirements	First time/ 2007-07-01
ДСТУ – 3911-99 (ГОСТ 17.9.0.1- 99)	The Nature Conservancy. Waste management. Identifying waste and submission of information data on waste. General requirements.	First time/ 2001-01-01
ДСТУ – 3910-99 (ГОСТ 17.9.0.1- 99)	The Nature Conservancy. Waste management. Classification of waste. Procedure for denomination on the genetic basis and the reference to classification categories.	First time/ 2001-01-01
ДСТУ – 2195-99 (ГОСТ 17.9.0.2- 99)	The Nature Conservancy. Waste management. Technical passport of waste. Structure, content and rules of change.	To replace ДСТУ – 2195-93 (ГОСТ 17.0.0.05-93) /2001- 01-01
ДСТУ – 3052-95	Resource Saving. Procedure for establishing parameters of resource saving in the documentation for products.	/1997-01-01

Сільськогосподарське виробництво та переробка сільськогосподарської продукції завжди пов'язувалися з утворенням великої кількості відходів після виробництва, таких як качани кукурудзи, стебла бавовни кісточка вишні та ін. Багато побічних продуктів містять цінні елементи та мінерали, але їх економічна цінність нижча, ніж витрати на збір, транспортування та переробку з метою корисного використання. Тому їх також зазвичай викидають як відходи.

Останнім часом використання відходів сільського господарства як попередників активованого вугілля викликало великий інтерес через набагато нижчу вартість їх виробництва, ніж виробництво вугілля з вугілля або деревини.

Активоване вугілля характеризується високим ступенем пористості і має дуже добре розвинену поверхню, що досягає кількох тисяч квадратних метрів на грам. Крім вуглецю, вони можуть містити інші елементи, такі як

водень, азот, сірка та кисень, які або є залишками вихідного матеріалу, або були зв'язані з вуглецем у процесі виробництва. Використання вуглецевих адсорбентів для видалення забруднюючих речовин з рідкої та газової фаз є набагато ефективнішим, ніж при використанні інших методів.

Активоване вугілля можна використовувати для адсорбції органічних і неорганічних сполуки, що зустрічаються в дисоційованій і молекулярній формах. Можливість адсорбції такого широкого спектру матеріалів пов'язана з наявністю різноманітних адсорбційних центрів різної міцності, локалізованих переважно на поверхні мікропор розміром до 2,0 нм.

Накопичення речовин у порах сорбенту називають адсорбцією. Адсорбція відбувається при проходженні газу або рідини через активоване вугілля. Десорбція – виокремлення з сорбенту речовин накопичених у процесі адсорбції.

Розрізняють фізичну адсорбцію і хемосорбцію:

Фізична адсорбція відбувається переважно у результаті дії сили Ван-дер-Ваальса, а хімічні властивості адсорбованих речовин не змінюються. Фізична адсорбція оборотна, адсорбовані речовини можуть бути відокремлені від сорбенту.

При хемосорбції речовина вступає з сорбентом в хімічну реакцію. Змінюються як його хімічні властивості, так і властивості сорбенту. Хемосорбція має незворотний характер.

Речовини, адсорбовані активованим вугіллям

Активованим вугіллям можуть адсорбуватися органічні та неполярні речовини, такі як розчинники, хлоровані вуглеводні, барвники, нафту та нафтопродукти. Краще адсорбуються високомолекулярні речовини і речовини з неполярною структурою.

Можливості сорбції активованим вугіллям збільшуються зі зменшенням розчинності речовини у воді для речовин з неполярною структурою і зі збільшенням молекулярної маси.



Адсорбцію, як функцію концентрації речовини, яка має бути адсорбована, представляють у вигляді ізотерми. Ізотерма описує рівновагу між речовиною в рідині або в повітрі, яка має бути адсорбована (залишкова концентрація), і адсорбованою речовиною в активованому вугіллі (максимальна кількість за цієї залишкової концентрації). Зазвичай максимальна ємність збільшується із збільшенням початкової концентрації.

Адсорбційні методи широко застосовують для переробки відходів, що містять розчинені органічні речовини після біохімічного очищення, а також на локальних установках, якщо концентрація цих речовин у воді невелика і вони біологічно не розкладаються або є не токсичними. Адсорбцію використовують для знешкодження стічних вод від фенолів, смолистих речовин, ароматичних нітросполук, ПАР, фосфатів, барвників та ін. Затримання забруднень є результатом міцного зв'язку між активними ділянками на поверхні сорбенту і забруднювачами [28].

Ефективність процесу адсорбції [33] залежить від хімічної природи та концентрації адсорбованих речовин. Чим вища концентрація речовини, тим більша його кількість буде адсорбована.

Для очищення води адсорбцією все більшого застосування знаходять невуглецеві сорбенти природного і штучного походження. Використання цих сорбентів зумовлено достатньо високою їх адсорбційною ємністю, селективністю, катіонообмінними властивостями деяких з них, порівняно низькою вартістю і доступністю. Найважливішими представниками мінеральних природних сорбентів є цеоліти та глинисті матеріали.

Вони досить поширені і різняться розмаїттям властивостей та областей застосування. Природні сорбенти добувають безпосередньо поблизу місця використання, що постійно розширює межі їх застосування для очищення природного середовища.

Отже, качани кукурудзи можна успішно використовувати як дешевий і відновлюваний попередник активованого вугілля, що

характеризується дуже хорошими сорбційними властивостями щодо газоподібних та рідких забруднюючих речовин. Правильний вибір параметрів хімічної та фізичної активації качанів кукурудзи, таких як температура, тривалість активації, вагове співвідношення вуглецю/активатора, дозволяє отримувати універсальні адсорбенти, які демонструють дуже хороші сорбційні властивості.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Порувата структура активованого вугілля отриманого з качанів кукурудзи

Зразки активованого вугілля отримані методом хімічної активації кукурузник качанів з використанням ортофосфорної кислоти в якості модифікатора. В роботах, присвячених хімічній активації із лігніно-целюлозної сировини, відмічається висока ефективність активованого вугілля за рахунок використання .

Для отримання інформації про розвиток пористої структури синтезованих адсорбентів проводили адсорбцію азоту. Цей метод передбачає визначення об'єм газу, поглинаючого навішування адсорбенту. Кількість поглиненого азоту визначається по різниці показників тиску між розрахованим і рівноважним тиском в системі. По побудованим ізотермам сорбції-десорбції цього адсорбтиву і при допомозі програмного забезпечення визначили питому поверхню методом математичного опису фізичної адсорбції, питому поверхню мікро-і мезопор, об'єм пор сорбційного матеріала. Ізотерми сорбції азота отримали при температурі – 196 С за допомогою прибору NOVA 2200 apparatus (Quanta chrome, USA). Перед проведенням визначених вимірювань проводили дегазацію при 180 С під тиском Торр на протязі 2 годин. [34]

На рис.3.1.1. представлені ізотерми адсорбції азота (температура активування 400С, час очікування 1 година) зразками активованого вугілля з кукурузник качанів хімічної активації з використанням .

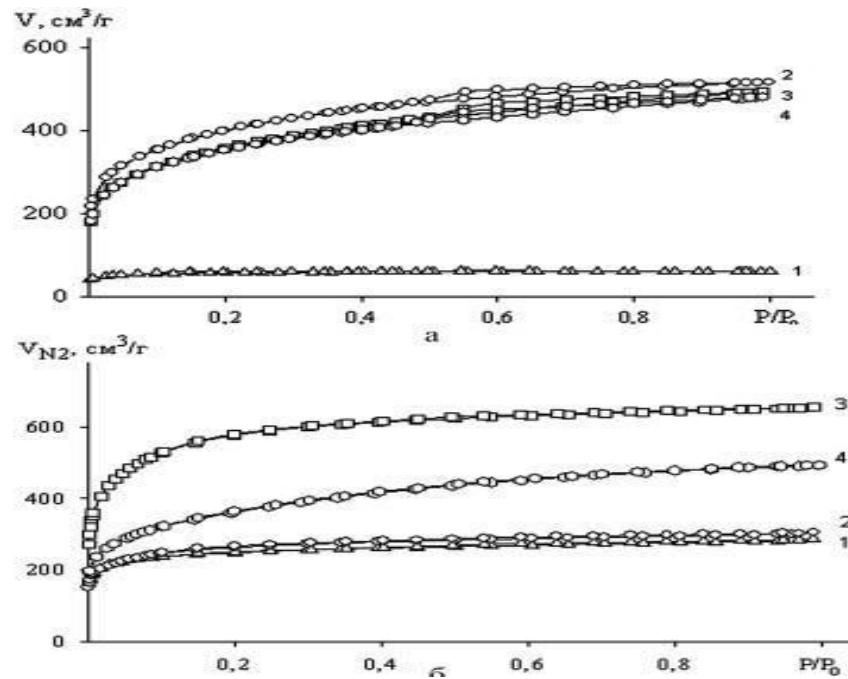


Рис.3.1.1. Ізотерми сорбції-десорбції азота активованим вугіллям з кукурузник качанів (а), отриманих при коефіцієнтах 1- 0,25; 2 – 0,5; 3 – 0,75; 4 – 1,0.

Характер ізотерм свідчить про те, що хімічна активація значно впливає на розвиток пористої структури. Імпрегнування подрібнених кукурузник качанів в невеликій кількості ортофосфорною кислотою ( 1- 0,25) практично не здійснює впливу на розвиток пористої структури.

В таблиці зазначені характеристики пористої структури активованого вугілля, отримані при 400 С і тривалості активації 1 година з кукурузник качанів. Видно, що питома поверхня по методу математичного

опису фізичної адсорбції для активованого вугілля з кукурузник качанів різко зростає при  $\alpha = 0,5$  і досягає майже 1500 /г, при цьому питома поверхня мікропор досягає 1093/г. Максимальна поверхня мезопор досягає при коефіцієнті просочення . [35]

Таким чином, зміни співвідношення : вихідної сировини можна керувати характеристиками пористої структури, яка дозволяє отримати високо пористе активоване вугілля з регульованою пористою структурою.

Таблиця 3.1.1

## Характеристика пористої структури активованого вугілля

	Питома поверхня, /г			, /г
				0,09
0,25	218	197	20,08	0,80
0,5	1457	1093	363,0	0,76
0,75	1296	819	477,1	0,75
1,0	1281	921	360,2	

Джерело : [35,36]

Отже, отримані результати дозволяють розглядати припускаємий спосіб переробки відходів, утворюючій в процесі переробки сільськогосподарської продукції , в якості прийняттого варіанту реалізації програми ресурсозбереження.

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі досліджено важливу науково-прикладну задачу – отримання активованого вугілля з відходів сільськогосподарських відходів, а саме кукурудзяних качанів. Ефективність переробки кукурудзяних качанів у вуглецевий адсорбент допоможе покращити екологічний стан навколишнього середовища та вплинути на масове забруднення при спалюванні відходів кукурудзи.

При цьому отримано такі наукові результати:

1) В результаті аналізу літературних джерел і патентів щодо способів отримання вуглецевих адсорбентів з відходів переробки рослинної сировини встановлено, що вибір способу обробки сировини з метою отримання активованого вугілля залежить від особливостей хімічного складу сировини та може включати такі процеси, як механічну обробку, термічну (висушування, карбонізацію, піроліз), активацію (фізичну або хімічну).

Термічний спосіб активування у порівнянні з хімічною обробкою сировини має ряд переваг, зокрема, він є екологічно безпечним та не передбачає утворення додаткових токсичних стічних вод.

2). Кукурудза займає третє місце за площею посівів в Україні. Однак більша частина врожаю, відома як кукурудзяна солома, в результаті утилізується або спалюється.

Дослідивши літературу та публікації ми дійшли висновку, що за допомогою активованого вугілля виготовленого з кукурудзяних качанів можна отримати активоване вугілля, яке можна застосовувати для очищення довкілля, наприклад виводити з ґрунту радіоактивні речовини.

3) Виконаний аналіз літературних даних показав, що відходи переробки качанів кукурудзи є перспективними матеріалом для одержання активованого вугілля, яке може мати широкий спектр застосування.

4) У цій роботі представлені теоретичні дослідження з опрацювання технології комплексного використання рослинних відходів, вибору тотальних параметрів утилізації та визначення якісних характеристик отриманих продуктів.

5) Качани кукурудзи можна успішно використовувати як дешевий і відновлюваний попередник активованого вугілля, що характеризується дуже хорошими сорбційними властивостями щодо газоподібних та рідких забруднюючих речовин. Правильний вибір параметрів хімічної та фізичної активації качанів кукурудзи, таких як температура, тривалість активації, вагове співвідношення вуглецю/активатора, дозволяє отримувати універсальні адсорбенти, які демонструють дуже хороші сорбційні властивості

## СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Новый справочник химика [Электронный ресурс]. – Режим доступа:[http://chemanalytica.com/book/novyy\\_spravochnik\\_khimika\\_i\\_tekhnologa/05\\_syre\\_i\\_produkty\\_promyshlennosti\\_organicheskikh\\_i\\_neorganicheskikh\\_veshchestv\\_chast\\_I/5941](http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/05_syre_i_produkty_promyshlennosti_organicheskikh_i_neorganicheskikh_veshchestv_chast_I/5941). – Назва з екрана. – Мова укр.
2. Карнаухов А. П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов: учеб. пособие / А. П. Карнаухов. – Н. : Наука, 1999. – 470 с.
3. Толмачев А. М. Адсорбция газов, паров и растворов: монография / А. М. Толмачев. – М. : Изд. группа «Граница», 2012. – 241 с.
4. Давыдов С. Ю. Диффузия и адсорбция в гетерогенных системах: учеб. пособие / С. Ю. Давыдов, Л. П. Ефименко, А. И. Мамыкин, В. А. Мошников. – Спб. : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. – 48 с.
5. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники: учеб. пособие / Н. В. Кельцев. – М. : Химия, 1984. – 592 с.
6. Грег С. Адсорбция. Удельная поверхность: монография / С. Грег, К. Синг. – М. : Мир, 1984. – 310 с.
7. Кинле Х. Активные угли и их промышленное применение: монография / Х. Кинле, Э. Бадер. – Л. : Химия, 1984. – 216 с.
8. Фенелонов В. Б. Пористый углерод: монография / В. Б. Фенелонов. – Н. : Ин-т катализа, 1995. – 518 с.
9. Тарковская И. А. Окисленный уголь: монография / И. А. Тарковская – Киев : Наук. думка, 1981. – 200 с.



10. Когановский А. М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод: монография / А. М. Когановский. – Киев : Наук. думка, 1983. – 240 с.
11. Когановский А. М. Адсорбция растворенных веществ: учеб. пособие / А. М. Когановский, Т. М. Левченко, В. А. Кириченко. – Киев : Наук. думка, 1977. – 222 с.
12. Колышкин Д. А. Активные угли: справочник / Д. А. Колышкин, К. К. Михайлова. – М. : Химия, 1972. – 57 с.
13. Серпионова Е. Н. Промышленная адсорбция газов и паров: учеб. пособие / Е. Н. Серпионова. – М. : Высш. школа, 1969. – 416 с.
14. Leon C. A. Interfacial chemistry and electrochemistry of carbon surfaces Chapter / C. A. Leon, L. R. Radovic // Chemistry and Physics of Carbon. – 1994. – № 1. – P. 213–310.
15. Киселев В. Я. Адсорбция на границе раздела твердое тело – раствор: учеб. пособие / В. Я. Киселев, В. М. Комаров. – М. : МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2005. – 81 с.
16. Джесси Р. Адсорбция: монография / Р. Джесси, К. Рональд. – NY : VSD, 2015. – 54 с.
17. Будницкий Г.А. Углеродные волокна и материалы на основе вискозных волокон / Г.А.Будницкий, В.С.Матвеев, М.Е.Казаков // Химические волокна. -1993. - №5. - С. 1922.
18. Bansal R.C. Activated carbón adsorption / R.C.Bansal, M.Goyal. - USA: Taylor & Francis Group. - 2005. - 520 p.
19. Беляев Е.Ю. Получение и применение древесных активированных углей в экологических целях // Химия растительного сырья. - 2000. - №2. - С. 5-15.
20. Кинлс Х. Активные угли и их промышленное применение / Х.Кинлс, Э.Бадер; Пер. с нем. Т. Б. Сергеевой - Л.: Химия. Ленинградское отделение, 1984. -215 с.

21. Momma A., Liu X., Osaka T., Ushio Y., Sawada Y. Electrochemical modification of active carbon fiber electrode and its application to double-layer capacitor. *Journal of Power Sources*. 1996. Vol. 60(2). P. 249–253.
22. Nakamura M., Nakanishi M., Yamamoto K. Influence of physical properties of activated carbons on characteristics of electric double-layer capacitors. *Journal of Power Sources*. 1996. Vol. 60(2). P. 225–231.
23. Yoshida A., Tanahashi I., Nishino A. Effect of concentration of surface acidic functional groups on electric double-layer properties of activated carbon fibers. *Carbon*. 1990. Vol. 28(5). P. 611–615.
24. Есида А., Нисино А., Танахаси И., Такнуги Я. Электрический двухслойный конденсатор и способ его изготовления. Пат. № 4597028 США, Заявл. 07.08.84, Опубл. 24.06.86, НКИ 361/305. 37 с.
25. Карнаухов А.П. Адсорбция. Текстура дисперсных и пористых материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1999. 470 с.
26. Дубинин М.М. Физико-химическая основы адсорбционной техники. М.-Л.: Госхимико-техническое издательство, 1932. 436 с.
27. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. М.: Металлургия, 2000. 352с.
28. Удаление металлов из сточных вод. Нейтрализация и осаждение: Пер с англ. / Под ред. Дж. К. Кушни. М., 1987. 176с.
29. Когановский М.А. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев, 1983. 239с.
30. Мундер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир, 1999. 513с.
31. Беляев Е.Ю., Беляева Л.Е. Использование растительного сырья в решении проблем защиты окружающей среды. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2000. №8. С. 763–772.

32. Беляев Е.Ю., Беляева Л.Е. Применение целлюлозы в решении экологических проблем. Химия в интересах устойчивого развития. 2000. №8. С. 755–761.

33. Румянцева Е.В., Чернышенко А.О., Неборако А.А., Сараева Е.Ю., Вихорева Г.А., Кильдиева Н.К. Сорбционные свойства хитозанас амортизированной структурой. Современные перспективы и исследования хитина и хитозана: Материалы VIII междунар. конф. М., 2006. С.126–130.

34. Коростягинец В.Д., Картель Н.Т., Купчик Л.А. Полученные новых полифункциональных сорбентов на основе природный метериалов растительного происхождения // Тез.докл. Всерос. сим поз. «Актуальные проблемы теории адсорбции и синтеза сорбентов». – Москва, Клязьма, 2000. – С.126.

35. Сыч Н.В., Трофименко С.И., Пузий А.М, Ставицкая С.С., Цыба М.М., Ковтун М.Ф., // Поглощение техногенных загрязнителей активированными углями из лигниноцеллюлозного сырья.

36. Айвазов Б.В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции. – М.: Высш.шк., 1973 – 206 с.