

*Гурей М.І.,  
здобувач вищої освіти освітнього ступеня «доктор філософії»  
спеціальності 101 «Екологія»  
Науковий керівник: Адаменко Я.О.,  
Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології  
mykhailo.gurei-a10124@nung.edu.ua  
Мосюк М.І.,  
к.т.н., доц., доцент кафедри екології,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
mykola.mosiuk@nung.edu.ua*

## **ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР ЯК ПРОЦЕСУ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Зростаюча нагальність протидії зміні клімату підкреслює необхідність сталих і ефективних рішень для зменшення викидів парникових газів (ПГ). Енергетична верба *Salix*, завдяки своїй високій продуктивності біомаси та екологічній стійкості, пропонує перспективний підхід до декарбонізації та пом'якшення наслідків зміни клімату. У цій роботі досліджується роль енергетичної верби *Salix* у секвестрації вуглецю, виробництві відновлюваної енергії та відновленні екосистем, із використанням результатів наукових досліджень для демонстрації її впливу.

Дослідження показали, що енергетична верба *Salix* може секвеструвати значні обсяги діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ) протягом усього життєвого циклу. Зокрема, дослідження у Швеції показало, що плантації верби можуть секвеструвати до 3,7 тис.  $\text{CO}_2$  на гектар щорічно, причому вуглець зберігається як у біомасі, так і в кореневих системах. Крім того, довготривалі випробування у Великій Британії виявили збільшення вмісту органічного вуглецю в ґрунті на 20% протягом десятиліття вирощування.

Щодо виробництва відновлюваної енергії, енергетична верба *Salix* показала чудову ефективність як джерело біомаси. Випробування в Польщі та Німеччині виявили, що верба може давати від 8 до 12 тис. сухої біомаси на гектар щороку, залежно від ґрунтових і кліматичних умов. Використання цієї біомаси для виробництва енергії може генерувати 200–300 ГДж енергії на гектар, що суттєво знижує залежність від викопного палива[1].



Рис.1. Плантації енергетичної верби та виробництво твердого біопалива.

Окрім виробництва енергії, енергетична верба сприяє відновленню екосистем. Дослідження у деградованих районах Центральної Європи показали, що плантації верби зменшили ерозію ґрунту на 45% і покращили водоутримуючу здатність завдяки поліпшенню структури ґрунту.

Використання енергетичної верби *Salix* у стратегіях декарбонізації відповідає міжнародним зобов'язанням щодо обмеження підвищення температури. Аналіз життєвого циклу, проведений у Данії, продемонстрував, що біоенергетичні системи на основі верби скоротили викиди ПГ на 70% порівняно з вугільними системами[2]. Цей показник враховує викиди від посадки, збору врожаю та переробки, що додатково підкреслює її здатність створювати негативний вуглецевий баланс.

Крім того, адаптивність верби до маргінальних земель робить її цінним інструментом у регіонах, вразливих до змін клімату. Наприклад, проєкт в Україні, що використовує енергетичну вербу *Salix* на територіях, схильних до повеней, зменшив ризики затоплення, одночасно забезпечуючи сталий енергетичний ресурс для місцевих громад. Дослідження показало, що ці плантації зменшили вплив інтенсивних опадів, покращуючи здатність ґрунту до поглинання води та знижуючи стік.

Соціально-економічні переваги вирощування верби також були задокументовані. У Швеції проєкт, що залучав дрібних фермерів, показав зростання доходів домогосподарств на 15%, завдяки продажу біомаси до місцевих біоенергетичних станцій. Інтеграція верби в програми сільського розвитку у Східній Європі створила робочі місця у сфері посадки, збору та переробки, сприяючи сталому економічному зростанню.

Незважаючи на свій потенціал, широкомасштабне впровадження енергетичної верби *Salix* стикається з викликами. Економічна життєздатність залишається важливим питанням, оскільки біоенергетичні системи повинні конкурувати за вартістю із дешевими викопними паливами. Критично важливими є також сталі методи управління для запобігання надмірній експлуатації земельних ресурсів.

Внаслідок російської агресії у 2022–2024 роках Україна зазнала значних втрат в енергетичній інфраструктурі. За офіційними даними, 70% електрогенеруючих потужностей було знищено або частково пошкоджено, що створило

серйозну загрозу для енергетичної безпеки країни. У таких умовах важливість відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), включаючи тверде біопаливо, суттєво зросла. Станом на 2023 рік частка ВДЕ у виробництві електроенергії в Україні становила 22%, включаючи великі гідроелектростанції. Це суттєво нижче, ніж середній рівень у Європі (42%). У структурі постачання первинної енергії біопаливо займає 3,4%, що свідчить про його важливу, але недостатньо реалізовану роль у забезпеченні енергетичної стабільності[3]. Тверде біопаливо, зокрема пелети, брикети та тріска з енергетичних культур (як-от верба, міскантус) та аграрних відходів, є важливим джерелом енергії для обігріву будівель, промислових котелень та когенераційних установок.

Тверде біопаливо, яке виготовляється з аграрних залишків, лісових відходів або спеціально вирощених енергетичних культур (наприклад, Salix або міскантус), є одним із найбільш ефективних рішень для зменшення викидів вуглецю. У контексті глобальної боротьби зі зміною клімату та переходу до низьковуглецевої економіки його використання є стратегічним. Біомаса, з якої виготовляється тверде біопаливо, поглинає CO<sub>2</sub> під час свого росту. Коли це паливо спалюється, в атмосферу виділяється приблизно така ж кількість CO<sub>2</sub>, яку рослина абсорбувала. Таким чином, біопаливо не додає «додаткового» вуглецю в атмосферу, як це робить викопне паливо (вугілля, газ, нафта). За умов сталого управління цей процес є вуглецево-нейтральним. Дослідження Державного агентства з енергоефективності показують, що заміна газу чи вугілля на тверде біопаливо дозволяє зменшити викиди CO<sub>2</sub> на 91% у порівнянні з традиційними джерелами енергії. Наприклад, 1 тонна пелет із біомаси може замінити до 500 м<sup>3</sup> природного газу, запобігаючи викидам близько 1,1 тонни CO<sub>2</sub>[4]. Крім CO<sub>2</sub>, тверде біопаливо виділяє значно менше інших шкідливих речовин, таких як сірчистий газ (SO<sub>2</sub>) та оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), які спричиняють кислотні дощі та забруднення повітря. У порівнянні з вугіллям, викиди SO<sub>2</sub> при спалюванні біопалива є в десятки разів нижчими.

Подальші дослідження повинні зосередитися на вдосконаленні методів вирощування, включаючи селекційні програми для розробки високопродуктивних і стійких до хвороб сортів. Дослідження нових способів використання біомаси верби, таких як виробництво біовугільного палива, можуть ще більше підвищити її секвестраційні можливості та економічну цінність.

Результати досліджень підкреслюють значний потенціал енергетичної верби Salix у сприянні глобальній декарбонізації та боротьбі зі зміною клімату. Її здатність секвеструвати вуглець, виробляти відновлювану енергію та відновлювати деградовані екосистеми робить її цінним ресурсом для досягнення цілей сталого розвитку. Розширення її використання вимагатиме скоординованих зусиль у сферах досліджень, політики та промисловості. Зі стратегічною реалізацією енергетична верба Salix може відіграти трансформаційну роль у вирішенні подвійного виклику зміни клімату та енергетичної безпеки.

#### Список використаної літератури

1. Bioenergy Europe. Інформація про біоенергетику в Європі. – Режим доступу: <https://bioenergyeurope.org/> (дата звернення: 07.11.2024).
2. Кубрак О. В., Сапронов Ю. О. Технології вирощування енергетичних культур для біоенергетики // Вісник аграрної науки. – 2018. – № 5(12). – С. 30–35. – Режим доступу: <http://visnyk.agro.gov.ua>.
3. Шевчук О. Г. Екологічна оцінка вирощування енергетичних культур на деградованих землях // Український журнал екології. – 2019. – Т. 9. – № 1. – С. 66–72. – DOI: 10.15421/2019\_9.
4. Сіренко І. О., Петренко В. В. Використання енергетичної верби для виробництва твердого біопалива: досвід і перспективи // Енергетика та довкілля. – 2017. – Т. 4. – № 2. – С. 18–24.