

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІОМАСИ ОБЛІПИХИ КРУШИНОВИДНОЇ, ВИРОЩЕНОЇ НА ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ЗЕМЛЯХ

Отримано 04 лис. 2024 р.; рекомендовано до публікації 14 бер. 2025 р.
Доступно онлайн 01 квіт. 2025 р.

Шевчик-Костюк Л. З.¹, Романюк О. І.²,
Ощাপовський І. В.³

Автор для кореспонденції: Шевчик-Костюк Леся,
e-mail: lesyashevchik@gmail.com

Фіторе mediaція техногенно порушених земель за участі енергетичних культур є інноваційною стратегією. Продукт фіторе mediaційних технологій – рослинна біомаса розглядається як джерело відновлювальної енергії.

Метою статті є оцінка енергетичного потенціалу біомаси обліпиhi крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених землях, для виробництва твердого біопалива. Біомасу для досліджень зібрано з експериментальних фіторе mediaційних ділянок і визначено основні паливні характеристики. Встановлено, що вологість рослинної біомаси на момент збору становить 40,68 %, що свідчить про можливість кондиціювання сировини як природним, так і штучним шляхом для виробництва твердого біопалива. Зольність біомаси обліпиhi становить 1,40 %, теплотворна здатність – 20,60 МДж/кг. Вміст важких металів у надземній біомасі чотирирічних рослин обліпиhi не перевищує показники, які встановлюються для твердого біопалива. Отримані дані вказують на те, що біомаса обліпиhi крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених землях, може бути використана як сировина для виробництва твердого біопалива (пелет, брикетів) з якісними характеристиками, що відповідають вимогам міжнародної схеми сертифікації ENPlus. Розраховано очікувану продуктивність надземної деревної біомаси обліпиhi й показано, що чотирирічна енергетично рекультивувальна плантація обліпиhi здатна продукувати 20–25 т/га деревної біомаси, шестирічна – 35–40 т/га, що в еквіваленті потенційної енергії становить відповідно 412–515 та 721–824 ГДж/га. Отже, обліпиhi крушиновидна, є перспективною швидкозростаючою деревною культурою з високим енергетичним потенціалом для виробництва твердого біопалива та можливістю вирощування на техногенно порушених нафтозабруднених землях.

Ключові слова: біоенергетика, енергетичні культури, тверде біопаливо, обліпиhi крушиновидна, енергетичний потенціал, техногенно порушені землі.

¹ канд. біол. наук, наук. співроб.

<https://orcid.org/0000-0002-6394-8742>

² співроб., канд. хім. наук, ст. наук. співроб.

<https://orcid.org/0000-0002-6249-2683>

³ канд. хім. наук, ст. наук. співроб.

<https://orcid.org/0000-0001-5845-5831>

^{1, 2, 3} Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України, м. Львів, Україна

³ Інститут ядерної фізики ім. Генрика Неводнічанського Польської Академії Наук, Краків, Польща

THE EVALUATION OF ENERGETIC POTENTIAL OF BIOMASS OF SEA BUCKTHORN (HYPPOPHAE RHAMNOIDES) PLANTS, GROWN ON TECHNOLOGICALLY DAMAGED OIL-POLLUTED SOILS

Received Nov. 04, 2024; accepted Mar. 14, 2025

Available online Apr. 01, 2025

Shevchyk-Kostiuk L.¹, Romaniuk O.²,
Oshchapovsky I.³

Author for correspondence: Shevchyk-Kostiuk Lesya,
e-mail: lesyashevchik@gmail.com

Phytoremediation of technologically damaged soils by means of energy crops is an innovative strategy. Plant biomass, obtained in course of remediation, is considered as a renewable energy source. The aim of this

¹ Cand. of Bio. Sciences, research fellow

<https://orcid.org/0000-0002-6394-8742>

² Cand. of Chem. Sciences, senior researcher

<https://orcid.org/0000-0002-6249-2683>

³ Cand. of Chem. sciences, senior researcher

<https://orcid.org/0000-0001-5845-5831>

^{1, 2, 3} Department of Physical Chemistry of Fossil Fuels of the Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry named after L. M. Lytvynenko of the NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

³ Henryk Niewodniczanski Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences, Kraków, Poland

*paper is the evaluation energetic potential of sea buckthorn plants, grown on technologically damaged oil-polluted soils. Biomass studied was collected on the experimental phytoremediation sites and its capabilities as fuel. Moisture content of biomass after collection was equal 40,68%. It enables both natural and artificial conditioning of raw material for further fuel production. Ash content equals 1,40%, heat of combustion – 20,60 MJ/kg. Heavy metal content in 4-year old plants does not exceed permitted values for solid biofuel, therefore biomass of sea buckthorn plants, grown on oil-polluted soils can be used for production of solid fuel (pellets, briquettes), compliant with international certification scheme ENPlus. Expected productivity of tree biomass of *Hyppophae rhamnoides* was calculated. It was shown that 4-years old recultivation plantation can produce 20-25 ton/ha of wood biomass, 6-years old – 35-40 ton/ha, equivalent to 412-515 GJ/ha and 721-824 GJ/ha respectively.*

Therefore sea buckthorn is promising fast-growing tree species with high energetic potential for production of solid biofuel and possibility to grow them on degraded oil polluted soils.

Key words: *bioenergetics, energy crops, solid biofuel, sea buckthorn, *Hyppophae rhamnoides*, energetic potential, technologically damaged soil.*

Вступ. Вичерпання природних ресурсів, енергетична криза, екологічні проблеми спонукають людство до пошуків нових альтернативних відновлюваних джерел енергії та сталого розвитку. Як наслідок, все більше уваги приділяється енергії сонця, води, вітру та особливо – біоенергії, енергії з біомаси, яка може бути застосована у вигляді твердих, рідких й газоподібних видів палива. Біоенергетика становить близько 60 % усіх відновлюваних джерел енергії у світі та близько 70 % – усіх відновлюваних джерел енергії в Україні, а тому є невід’ємною складовою «зеленого» енергетичного переходу розвинутих країн. Війна загострила питання енергетичної безпеки й показала, що має сенс не протиставлення «зеленої» і «випornoї» енергетики, а раціональне їх поєднання у «багатопаливну» енергетику, щоби мінімізувати ризики та мати можливість хоча б часткової взаємозаміни. Протягом останніх років спостерігається поступове зростання кількості об’єктів встановленої потужності для виробництва теплової та електричної енергії з біомаси. Переважне використання біомаси для виробництва теплової енергії відбувається прямим спалюванням. В Україні частка теплової енергії з біомаси становить близько 97 %, де протягом останніх років і на сьогодні деревна біомаса (дрова та побічні продукти деревообробки) домінує як джерело енергії. Однак потенціал деревної біомаси в Україні ще в 2020 році було використано більш ніж на 90 % [1], а тому процес реалізації переходу до «зеленої» енергетики шляхом використання деревних ресурсів може призвести до нераціонального лісокористування. Тому актуальним є цілеспрямоване отримання біомаси для виробництва біоенергії.

Для таких цілей розвинуто напрям, пов’язаний із забезпеченням сировиною виробництва твердого біопалива за рахунок вирощування високопродуктивних багаторічних рослин – енергетичних культур, що дає змогу щорічно отримувати задану кількість біомаси необхідної якості. – Коренева система таких багаторічних рослин залишається у ґрунті після збору врожаю та продовжує процес вегетації. Енергетичні культури вирощуються у плантаційний спосіб з періодичністю

збору врожаю від 1 до 5 років з метою отримання біомаси для подальшого виробництва енергії з неї [1]. Значна кількість культур досліджувалася як потенційно можливі для застосування їх як енергетичних, однак лише невелика кількість дійшла до комерційного впровадження та продукується на значних площах. Для виробництва твердого біопалива та/або подальшого виробництва енергії використовують швидкозростаючі деревні культури (верба, тополя, павлонія) або трав’янисті культури (сорго, міскантус) [2–7]. Для країн ЄС складено таблиці й карти із зазначенням культур, рекомендованих для різних кліматичних зон. Для континентальної зони вважаються доцільними такі культури, як верба, тополя, міскантус, кукурудза, соняшник, ріпак, сорго, льон, двукісточник тростиноподібний; для півночі середземномор’я – тополя, міскантус, арундо тростинний, кукурудза, соняшник, сорго, льон, цукровий буряк, соя, рапс, кенаф; для півдня середземномор’я – арундо тростинний, артишок іспанський, евкаліпт, сорго, льон [8]. До державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні (станом на червень 2023 р.) внесено 36 сортів енергетичних рослин, зокрема декілька видів верби, міскантуса, павлонії та проса [1]. Врожайність енергетичних культур прямо залежить від кліматичних, ґрунтових та інших умов. Культури мають різну потребу у водному режимі, можуть значно відрізнятися за морозо- й посухостійкістю.

Стимулюючим, а інколи й перешкоджаючим фактором розвитку вирощування енергетичних культур є підбір і відведення земель, придатних для створення плантацій енергетичних культур та добір високопродуктивних видів енергетичних культур для конкретних умов вирощування. Використання орних земель для вирощування енергетичних рослин є неприпустимим з огляду на загострення проблеми продовольчої безпеки.

Україна має значний потенціал вирощування енергетичних культур, який обумовлений ґрунтово-кліматичними умовами та наявністю понад 4 млн га малопродуктивних, техногенно порушених земель [1]. Значна частка деградованих земель утворилася внаслідок

експлуатації родовищ корисних копалин, зокрема нафти та газу, і, відповідно, забруднена нафтою, нафтопродуктами та іншими різноманітними хімічними речовинами. Такі землі не придатні для цілей сільського господарства чи іншої діяльності і є джерелом вторинного забруднення довкілля, а тому підлягають рекультивації. Найприйнятнішою технологією відновлення ґрунтів є фіторе mediaція, яка здійснюється на місці й забезпечує оптимізацію природного середовища завдяки запобіганню вітрової та водної ерозії, збагаченню атмосфери киснем, покращенню водного промивного режиму та якості ґрунтових вод на прилеглих територіях [9, 10].

Продукт фіторе mediaційних технологій – рослинна біомаса розглядається як джерело альтернативної енергії. Поєднання відновлення забруднених деградованих земель фіторе mediaцією та отримання джерела енергії з рослинної біомаси є інноваційною стратегією.

Деградовані порушені землі, що утворилися внаслідок видобування корисних копалин, шахтні відвали можуть бути альтернативним місцем для створення енергетичних плантацій. Однак не всі відомі енергетичні культури можуть рости в таких умовах і продукувати високі врожаї якісної біомаси. Доведено, що обліпиха крушиновидна здатна рости на техногенних відвальних нафтозабруднених ґрунтах озокеритовидобутку, відновлювати їх та інтенсивно накопичувати біомасу [11, 12]. Обліпиха крушиновидна (*Hippophae rhamnoides* L.) – багаторічна рослина, дводомна, азотфіксуюча, вітрозапильна, кущ висотою 0,5–4 м, рідше деревце заввишки до 10 м родини маслинових, *Elaeagnaceae*, зі слабомичкуватою шнуровидною поверхневою кореневою системою, яка дає кореневі пагони-паростки, за рахунок яких утворюються розлогі зарості. Вид поширений більш ніж у 20 країнах Європи та Азії, культивується як харчова, лікарська рослина, а також росте в природних умовах по берегах річок і озер як домішка до вербово-тополевих заплавлених лісів. Обліпиха виконує фітомеліоративну, протиерозійну та ґрунтопокращувальну ролі. Повідомляється, що деревина обліпихи є хорошим джерелом дров [13]. Однак енергетичний потенціал біомаси обліпихи, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених землях не досліджувався, є лише поодинокі відомості про паливні характеристики гілок обліпихи як агровідходів при виробництві ягід [14, 15]. Обліпиха крушиновидна на сьогодні не внесена до списку енергетичних культур.

Постановка завдання. Досліджувалась рослинна біомаса фіторе mediaнта обліпихи крушиновидної (*Hippophae rhamnoides* L.), отримана внаслідок зрізання чотирирічних рослин, вирощених на деградованих нафтозабруднених ґрунтах. Рекультиваційна схема посадки обліпихи широко-рядно-вузькорядна: відстань між широкими рядами – 4,5 м, відстань між вузькими рядами 1 м, відстань між рослинами в рядку – 1,5 м, 2800–3000 рослин на 1 га. Запропонована схема посадки враховує особливості обліпихи швидко розростатись у куртини завдяки кореневим відросткам, які

починають продукувати трирічні рослини в кількості 10–20 штук на кожну рослину [16]. Це дозволяє зекономити на посадковому матеріалі й агротехнічних роботах вже в перший рік закладання рекультиваційно-енергетичної ділянки.

Мета роботи – оцінити енергетичний потенціал біомаси обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених землях, для виробництва твердого біопалива.

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

1. Визначити паливні характеристики й оцінити якість біомаси обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених землях;
2. Розрахувати продуктивність біомаси обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених землях;
3. Порівняти енергетичні потенціали обліпихи крушиновидної та деяких енергетичних культур.

Методи дослідження. Досліджувалась надземна біомаса обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенних, нафтозабруднених, відвальних ґрунтах озокеритовидобутку м. Борислава. Відвали озокеритовидобутку різного рельєфу, насипні, засолені, забруднені комплексом шкідливих речовин: нафтовими вуглеводнями, 0,3–12 %, та важкими металами [17].

Рослинну біомасу для досліджень зібрано на початку грудня з трьох експериментальних фіторе mediaційних ділянок на четвертий рік росту.

Вологість рослинної біомаси визначали відповідно ДСТУ EN 14774-2 [18]. Визначення вмісту золи проводили згідно з ДСТУ EN ISO 18122 [19]. Теплоту згоряння визначено експериментально шляхом спалювання в калориметричній бомбі відповідно до ДСТУ EN ISO 18125 [20]. Вміст важких металів у зразках визначали атомно-абсорбційним методом. Проби для випробування готували способом сухого озолення з подальшим розчиненням золи в розчині хлористоводневої кислоти відповідно до ДСТУ 8123:2015 [21].

Оцінку якості біомаси обліпихи крушиновидної здійснювали відповідно до вимог міжнародної схеми сертифікації ENPlus, яка гарантує високу якість деревного біопалива, його відповідність вимогам енергоефективності та екологічності. ENPlus встановлює суворі критерії для виробництва деревних пелет, включно з вибором сировини, виробничих процесів та якістю кінцевої продукції. Це гарантує, що споживачі отримають високоякісне біопаливо зі стабільною продуктивністю [22, 23].

Для розрахунку очікуваної продуктивності надземної біомаси обліпихи на четвертий та шостий рік зростання оброблено дані ростових показників 28 модельних дерев з трьох фіторекультиваційних ділянок та побудовано варіаційні ряди з визначенням рівня зростання.

Виклад основного матеріалу. Зрізання рослин обліпихи крушиновидної проводили взимку, коли рослини

перебували у стані спокою. Встановлено, що відразу після зрізання вологість рослинної біомаси становить 40,68 %. Це є хорошим показником, зважаючи на середню вологість свіжозрубаної деревини найефективніших для опалювання енергетичних рослин деревних порід: у ялини – 48 %, у ялиці – 50, у сосни звичайної – 47, у верби – 46, у липи – 38, в осики – 45, у вільхи – 46, у тополі – 48, у берези бородавчастої – 44, у бука – 39, у граба – 38, у дуба – 41 %.

Для кондиціонування біомаси обліпихи до вологості 10 %, оптимальної для переробки деревини на паливні брикети, та до вологості 14–16 % – для переробки на пелети [14] необхідно, щоб біомаса обліпихи була попередньо висушена. Вміст води в біомасі при надходженні до сушарки не повинен перевищувати 46 % [14], а тому отримана після обрізки біомаса обліпихи може направлятися безпосередньо в сушарку. Остаточне сушіння рослинної біомаси обліпихи може також проводитись в природних умовах (безпосередньо в полі). Причому природне сушіння перед штучним має не лише економічні переваги, але й деякі інші. Гранули, виготовлені з природно висушеної рослинної біомаси, порівняно з гранулами, виготовленими з аналогічної сировини, але примусово висушеної, мають вищу щільність частинок, що пояснюється майже однаковим розміром частинок сировини після тонкого помелу [14].

Дослідження зольності біомаси обліпихи показали, що зольність сухої чотирирічної біомаси обліпихи є досить низькою і становить 1,40 %. Зольність – це вміст у паливі

мінеральних речовин, які залишаються після повного згоряння горючої маси. Як відомо, зола є небажаною частиною палива, оскільки знижує вміст горючих елементів і ускладнює експлуатацію паливних пристроїв. Вона впливає на теплотворну здатність палива – що більша зольність, то важче досягти повного згоряння палива. Таким чином, зольність деревини обліпихи відповідає нормам ENPlus, категорія B, які встановлюють вміст золи до 2 % для гранул непромислового використання і до 3 % – для деревних гранул промислового використання [23]. Тому за вмістом золи готовий продукт відповідатиме нормам ENPlus для категорій A1 і A2.

Теплотворність деревини – це кількість енергії, що вивільняється під час повного спалювання дров певної маси чи об'єму. Показник теплотворної здатності дров різних порід деревини сильно коливається, однак чим вища теплотворна здатність палива, тим воно цінніше. Нами встановлено, що деревина обліпихи крушиновидної, вирощена на нафтозабруднених землях, має високу теплоту згоряння, яка становить 20,60 Мдж/кг. Цей показник є вищим за теплоту згоряння відомих енергетичних рослин, яка становить 16–19 Мдж/кг (табл. 1) [7, 8]. Знання теплотворної здатності сировини, що використовується для виробництва твердого біопалива, є одним із найважливіших етапів обґрунтування технологічного процесу переробки брикетів і пелет з рослинної біомаси. Проведені аналізи показують, що теплота згоряння досліджених зразків біомаси обліпихи відповідає вимогам ENPlus.

Таблиця 1. Паливні характеристики біомаси обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених ґрунтах, та інших енергетичних культур

Table 1. Fuel properties of biomass of *Hyperphae rhamnoides* plants, grown on technologically disturbed oil-polluted soils as well as other energy crops

Показники	Обліпиха	Міскантус [8]	Верба [8]	Тополя [8]	ENPlus [23]
Вологість при збиранні, %	40,68±1,19	15–23	50–53	49–55	–
Теплота згоряння, Мдж/кг	20,60±0,83	17–19,5	18,5	18,7	16–19
Зольність, %	1,40±0,25	2,3–3,7	1,5–2	0,5–1,9	≤0,7–3,0

Елементний склад деревини безпосередньо впливає на її теплотворну здатність. Що вищий вміст вуглецю й водню, то більше енергії можна отримати при згорянні. У роботі [24] визначено елементний склад пелет з гілок обліпихи крушиновидної, який близький до елементного складу біомаси найпоширеніших деревних енергетичних рослин (табл. 2). Вміст азоту в біомасі обліпихи становить 0,83 % [24], що відповідає вимогам ENPlus. Вміст азоту в рослинній біомасі залежить від кількості добрив, які застосовуються для покращення росту рослин. У нашому випадку обліпиха росла без внесення будь-яких мінеральних добрив на техногенно

порушених нафтозабруднених ґрунтах, для яких характерним є дефіцит азоту. Тому цілком можемо припустити, що вміст азоту в біомасі обліпихи не перевищуватиме норми, які встановлюються схемою сертифікації ENPlus – 0,3–1 % [23].

Дослідження показали, що в надземній біомасі чотирирічних рослин обліпихи не відбувається перевищення показників вмісту важких металів, які встановлюються для твердого біопалива. За вмістом важких металів біомаса обліпихи відповідає нормам ENPlus (табл. 3).

Таблиця 2. Елементний склад біомаси обліпихи крушиновидної та інших деревних енергетичних рослин
Table 2. Elementary composition of biomass of sea buckthorn and other woody energy crops

Елемент, %	Обліпиха [24]	Верба [8]	Тополя [8]
Вуглець (C)	48,86–49,98	50,28	47,95
Водень (H)	5,93	5,98	5,92
Азот (N)	0,83–0,98	0,5–1,0	0,77–0,9

Таблиця 3. Вміст важких металів у чотирирічних рослинах обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених ґрунтах

Table 3. Heavy metal content in 4-years old *Hyperphae rhamnoides* plants, grown on technologically damaged oil-polluted soils

Елемент	Вміст важких металів, мкг/г сухого зразка		
	Біомаса обліпихи, що росла на техногенно порушених нафтозабруднених ґрунтах	Біомаса обліпихи, що росла на умовно чистих ґрунтах (дачні угіддя)	ENPlus [23]
Fe	94,08±0,09	108,27±0,22	не нормується
Mn	107,71±0,28	84,96±0,18	не нормується
Cu	9,67±0,02	7,15±0,08	<10
Zn	29,64±0,08	28,06±0,11	<100
Ni	1,50±0,04	1,80±0,07	<10
Co	0,12±0,02	0,125±0,06	не нормується
Pb	1,25±0,04	1,25±0,04	<10
Cd	0,41±0,03	0,10±0,02	<0,5

Розрахункова оцінка продуктивності надземної деревної біомаси, вказує на те, що чотирирічна енергетично-рекультивативна плантація обліпихи на техногенно порушених нафтозабруднених ґрунтах здатна давати 20–25 т/га деревної біомаси, шестирічна – 35–40 т/га, що в

еквіваленті потенційної енергії становить відповідно 412–515 ГДж/га та 721–824 ГДж/га і є достатньо високим показником для деревних енергетичних рослин (табл. 4), особливо враховуючи те, що обліпиха одночасно виконує фіторе mediaційну роль.

Таблиця 4. Очікувана продуктивність та потенційна енергія біомаси обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених ґрунтах, у порівнянні з деякими енергетичними культурами

Table 4. Expected productivity and potential energy of woody biomass of aerial part of sea buckthorn plants, grown on technologically damaged oil-polluted soils, in comparison with some energy crops

Показники	Обліпиха, 4 роки	Обліпиха, 6 років	Верба	Тополя
Вихід сухої біомаси, т/га	20–25	35–40	10–12, 16–20 [8] на 4-5-й рік	8–20 [8]
Теплота згоряння, МДж/кг	20,60	20,60	18,5 [8]	18,7 [8]
Енергія, ГДж/га	412–515	721–824	185–222, 296–370	149,6–374

Отже, деревна біомаса обліпихи крушиновидної, вирощена на забруднених нафтопродуктами та важкими металами деградованих землях, придатна для

виробництва твердого біопалива (пелет, брикетів) з якісними характеристиками, що відповідають вимогам міжнародної схеми сертифікації ENPlus.

Тверде біопаливо з біомаси обліпихи може використовуватися в індивідуальному секторі (побутові котли і печі), а також у комунальних, промислових котельнях та відповідно забезпечувати територіальні громади, населені пункти тепловою енергією для опалення та гарячого водопостачання.

Пелети можуть виготовлятися тільки з біомаси обліпихи (однокомпонентні), а також у суміші з іншими видами рослинної біомаси.

Результати досліджень свідчать про високий енергетичний потенціал обліпихи крушиновидної та можливість її комплексного використання – для задоволення енергетичних потреб та фіторекультивациї.

Висновки. Вперше встановлено, що паливні характеристики та якість біомаси фіторемедіанта обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених ґрунтах, відповідають вимогам міжнародної схеми сертифікації ENPlus, а тому обліпиха крушиновидна придатна для виробництва твердого біопалива. Теплота згоряння становить 20,60 МДж/кг, вологість – 40,68 %, зольність – 1,40 %, вміст важких металів не перевищує встановлених значень для твердого біопалива.

Очікувана продуктивність і потенційна енергія біомаси обліпихи крушиновидної, вирощеної на техногенно порушених нафтозабруднених ґрунтах, є значно вищою у порівнянні з відомими енергетичними культурами: вербою й тополею.

Обліпиха крушиновидна є перспективною швидкозростаючою деревною культурою з високим енергетичним потенціалом для виробництва твердого біопалива та можливістю вирощування на деградованих нафтозабруднених землях. Закладання рекультивацийно-енергетичних плантацій обліпихи дозволить ефективно використовувати техногенно порушені землі, зокрема забруднені внаслідок воєнних дій, що покращить екологічний стан у регіонах, зменшить проблему забезпечення енергоресурсами, дасть можливість повернути деградовані землі до господарського використання.

Вперше пропонується включити обліпиху крушиновидну до списку енергетичних культур, здатних зростати й накопичувати якісну біомасу в складних умовах техногенно порушених ґрунтів, забруднених важкими металами та нафтовими вуглеводнями.

ПОСИЛАННЯ

- Біоенергетична асоціація України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.uabio.org/>
- Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М. Міскантус – перспективна енергетична культура для виробництва біопалива. *Агробіологія: зб. наук. праць Білоцерківського НАУ*. 2010. № 4(80). С. 62–66.
- Мороз О. В., Смірних В. М., Курило В. Л., Герасименко Ю. П., Мостьовна Н. А., Горобець А. М., Кулик М. І. Світчграсс як нова фітоенергетична культура. *Цукрові буряки*. 2011. № 3. С. 12–14.
- Сінченко В. М. Міскантус – перспективна біоенергетична культура. *Біоенергетика*. 2022. (2). С. 15–19. <https://doi.org/10.47414/be.2.2017.253807>
- Роїк М. В., Гументик М. Я., Мамайсур В. В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 18–19.
- Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Деркач Д. Ф. Перспектива застосування видів роду *Salix* L. для створення енергетичних плантацій в Україні. *Український фітоценологічний збірник*, випуск 25, серія С. *Фітоекologia*. 2007. С. 97–102.
- Хіврич О. Б., Квак В. М., Каськів В. В., Мамайсур В. В., Макаренко А. С. Енергетичні рослини як альтернатива традиційним видам палива. *Агробіологія*. 2011. Вип. 6. С. 153–157.
- Гелетуша Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf>
- Шевчик Л. З., Романюк О. І. Аналіз біологічних способів відновлення нафтозабруднених ґрунтів. *ScienceRise. Biological science*. 2017. № 1. С. 31–39. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2017.94052>
- Schroder P., Harvey P. J., Schwitzguebel J. P. Prospects for the phytoremediation of organic pollutants in Europe. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2002. 9(1). Р. 1–3. <https://doi.org/10.1007/BF02987312>.
- Романюк О. І., Шевчик Л. З., Терек О. І. Спосіб очищення техногенних ґрунтів, забруднених нафтою. Патент № 86572 Україна. МПК A01B 79/00-79/02 B09C 1/00. *Неu201305665*, заявл. 30.04.2013, опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1.
- Шевчик Л. З., Романюк О. І. Використання обліпихи крушиновидної для фіторемедіації нафтозабруднених ґрунтів. *Біологічний вісник МДПУ імені Богдана Хмельницького*. 2016. 6(3). С. 472–480. [doi: 10.15421/2016120](https://doi.org/10.15421/2016120)
- Rajchal, Rajesh. "Seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) Management Guide." *Rufford.org. The Rufford Small Grants for Nature Conservation*, 2009.
- Marian G., Banari A., Gudima A., Daraduda N., Pavlenco A. Caracterizarea reziduurilor provenite din lanțul de producere a cătiniі albe. In: *Știința Agricolă*, 2020, nr. 2, pp. 91–96. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4321228>

15. Andersone A., Janceva S., Lauberte L., Zaharova N., Chervenkova M., Jurkijane V., Jashina L., Rieksts G., Telysheva G. Granulated Animal Feed and Fuel Based on Sea Buckthorn Agro-Waste Biomass for Sustainable Berry Production. *Sustainability* 2023, 15, 11152. <https://doi.org/10.3390/su151411152>
16. Ahmad Mir N, Maqbool Geelani S, Ahmad Bhat R, Qadri H, Beigh BA (2018) Seabuckthorn (*Hippophae* sp.): a unique high altitude multipurpose plant species growing in cold regions. *IJARSE* 7:1941–1952
17. Романюк О. І., Шевчик Л. З. Комплексний екологічний моніторинг нафтозабруднених територій на прикладі м. Борислава. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2013. (5). С. 19–22.
18. ДСТУ EN 14774-2:2013 Тверде біопаливо. Визначення вмісту вологи. Метод висушування в сушильній шафі. Частина 2. Загальна волога. Спрощений метод (EN 14774-2:2009, IDT)
19. ДСТУ EN ISO 18122:2022 Тверде біопаливо. Визначення вмісту золи (EN ISO 18122:2015, IDT)
20. ДСТУ EN ISO 18125:2019 Біопаливо тверде. Визначення теплоти згорання (EN ISO 18125:2017, IDT)
21. ДСТУ 8123:2015 Корми для тварин, сировина для виготовлення повнораціональних сумішей, виділення тварин. Визначання вмісту кальцію, магнію, заліза, марганцю, цинку, міді, кобальту методом атомно-абсорбційної спектроскопії.
22. Гелетука Г., Крамар В., Епик О., Антошук Т., Тітков В. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi.pdf
23. Гелетука Г. Ред. Підготовка та впровадження проєктів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник. К.: Поліграф плюс, 2015. 72 с.
24. Marian G., Banari A., Nazar B., Gudima A., Daraduda N., Pavlenco A. Prospects for the use of seabuckthorn residues in the production of densified solid biofuels Land Reclamation. *Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*. 2021. Vol. X. Pp. 60–63.
3. Moroz O. V., Smirnykh V. M., Kurylo V. L., Herasymenko Yu. P., Mostovna N. A., Horobets A. M., Kulyk M. I. Switchgrass як нова фітоенергетична культура [Switchgrass as a new phytoenergy crop]. *Tsukrovi bur'iaky*. 2011. №3. Pp. 12–14 [in Ukrainian].
4. Sinchenko V. M. Miskantus – перспективна біоенергетична культура [Miscanthus – perspective bioenergetic culture]. *Bioenerhetyka*. 2022. (2). Pp. 15–19. <https://doi.org/10.47414/be.2.2017.253807> [in Ukrainian].
5. Roik M. V., Humentyk M. Ya., Mamaisur V. V. Perspektyvy vyroshchuvannya enerhetychnoi verby dlia vyrobnytstva tverdoho biopalyva [Prospects of growing energy willow for the production of solid biofuel]. *Bioenerhetyka*. 2013. № 2. Pp. 18–19 [in Ukrainian].
6. Fuchylo Ya. D., Sbytna M. V., Derkach D. F. Perspektyva zastosuvannya vydiv rodu Salix L. dlia stvorennia enerhetychnykh plantatsii v Ukraini [The perspective of using of species of salix l. for planting on energy plantations in Ukraine]. *Ukrainskyi fitotsenolohichniy zbirnyk, випуск 25, seriia S. Fitoekolohiia*. 2007. Pp. 97–102 [in Ukrainian].
7. Khivrych O. B., Kvak V. M., Kaskiv V. V., Mamaisur V. V., Makarenko A. S. Enerhetychni roslyny yak alternatyva tradytsiinym vydam palyva [Energy plants as an alternative to traditional fuels]. *Ahrobiolohiia*. 2011. Vyp. 6. Pp. 153–157 [in Ukrainian].
8. Heletukha H. H., Zheliezna T. A., Tryboi O. V. Perspektyvy vyroshchuvannya ta vykorystannia enerhetychnykh kultur v Ukraini [Prospects of growing and using energy crops in Ukraine]. URL: <http://www.uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-10-ua.pdf> [in Ukrainian].
9. Shevchyk L. Z., Romaniuk O. I. Analiz biolohichnykh sposobiv vidnovlennia naftozabrudnennykh gruntiv [The analysis of biological ways of restoration of the oil-contaminated soils]. *ScienceRise. Biological science*. 2017. № 1. Pp. 31–39. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2017.94052> [in Ukrainian].
10. Schroder P., Harvey P. J., Schwitzguebel J. P. Prospects for the phytoremediation of organic pollutants in Europe. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2002. 9(1). P. 1–3. <https://doi.org/10.1007/BF02987312>.
11. Romaniuk O. I., Shevchyk L. Z., Terek O. I. Sposib ochyshchennia tekhnogenykh gruntiv, zabrudnennykh naftoiu [Method of cleaning of technogenic soils, contaminated with oil]. Patent № 86572 Ukraina. MPK A01V 79/00-79/02 V09S 1/00. Neu2013 05665, zaivl. 30.04.2013, opubl. 10.01.2014, Biul. № 1.
12. Shevchyk L. Z., Romaniuk O. I. Vykorystannia oblipekhy krushynovydnoi dlia fitoremediatsii naftozabrudnennykh hruntiv [Phytoremediation of oil contaminated soil using Sea Buckthorn]. *Biolohichniy visnyk MDPU*

REFERENCES

1. Bioenerhetychna asotsiatsiia Ukrainy [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.uabio.org/>
2. Kurylo V. L., Humentyk M. Ya., Kvak V. M. Miskantus – perspektyvna enerhetychna kultura dlia vyrobnytstva biopalyva [Miscanthus - perspective bioenergetic crop for biofuel production]. *Ahrobiolohiia: zb.nauk.prats Bilotserkivskoho NAU*, 2010. № 4 (80). pp. 62–66 [in Ukrainian].

- imeni Bohdana Khmelnytskoho. 2016, 6(3), 472–480. doi: 10.15421/2016120 [in Ukrainian].
13. Rajchal, Rajesh. "Seabuckthorn (*Hippophae salicifolia*) Management Guide." Rufford.org. The Rufford Small Grants for Nature Conservation, 2009.
14. Marian G., Banari A., Gudima A., Daraduda N., Pavlenco A. Caracterizarea reziduurilor provenite din lanțul de producere a cătinii albe. In: Știința Agricolă, 2020, nr. 2, pp. 91–96. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4321228>
15. Andersone A., Janceva S., Lauberte L., Zaharova N., Chervenkova M., Jurkane V., Jashina L., Rieksts G., Telysheva G. Granulated Animal Feed and Fuel Based on Sea Buckthorn Agro-Waste Biomass for Sustainable Berry Production. Sustainability 2023, 15, 11152. <https://doi.org/10.3390/su151411152>.
16. Ahmad Mir N, Maqbool Geelani S, Ahmad Bhat R, Qadri H, Beigh BA (2018) Seabuckthorn (*Hippophae* sp.): a unique high altitude multipurpose plant species growing in cold regions. IJARSE 7:1941–1952
17. Romaniuk, O. I., Shevchyk, L. Z. Kompleksnyi ekolohichnyi monitorynh naftozabrudnenykh terytorii na prykladi m. Boryslava. Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu [Complex environmental monitoring of the oil-contaminated territories on the example of the town Boryslav]. 2013. (5). Pp. 19–22. [in Ukrainian].
18. DSTU EN 14774-2:2013 Tverde biopalyvo. Vyznachennia vmistu volohy. Metod vysushuvannia v sushylnii shafi. Chastyna 2. Zahalna voloha. Sproshchenyi metod (EN 14774-2:2009, IDT). Kyiv. 2013
19. DSTU EN ISO 18122:2022 Tverde biopalyvo. Vyznachennia vmistu zoly (EN ISO 18122:2015, IDT). Kyiv. 2022.
20. DSTU EN ISO 18125:2019 Biopalyvo tverde. Vyznachennia teploty zghorannia (EN ISO 18125:2017, IDT). Kyiv. 2019.
21. DSTU 8123:2015 Kormy dlia tvaryn, syrovyna dlia vyhotovlennia povnoratsionnykh sumishei, vydilennia tvaryn. Vyznachennia vmistu kaltsiiu, mahniuu, zaliza, marhantsiu, tsynku, midi, kobaltu metodom atomno-absorbtsiinoi spektrometrii. Kyiv. 2015.
22. Heletukha H., Kramar V., Epik O., Antoshchuk T., Titkov V. Kompleksnyi analiz ukrainskoho rynku pelet z biomasy [Comprehensive analysis of the Ukrainian biomass pellets market]. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/kompleksnii_analiz_ukrayinskogo_rinku_pelet_z_biomasi.pdf [in Ukrainian].
23. Heletukha H. Red. Pidhotovka ta vprovadzhennia proektiv zamishchennia pryrodnoho hazu biomasoiu pry vyrobnytstvi teplovoi enerhii v Ukraini. Praktychnyi posibnyk. Kyiv. Polihraf plius, 2015. 72 p. [in Ukrainian].
24. Marian G., Banari A., Nazar B., Gudima A., Daraduda N., Pavlenco A. Prospects for the use of seabuckthorn residues in the production of densified solid biofuels Land Reclamation. Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering. 2021. Vol. X. Pp. 60–63.