

УДК 620.952

Н. В. Пришляк,

к. е. н., доцент, Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця

ORCID ID: 0000-0002-0544-1441

DOI: 10.32702/2306-6792.2021.1—2.33

ПОТЕНЦІЙНІ МОЖЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИРОВИНИ НА ВИРОБНИЦТВО ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

N. Pryshliak,

PhD in Economics, Associate Professor, Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia

POTENTIAL POSSIBILITIES OF GROWING BIOENERGY CROPS FOR THE PRODUCTION OF SOLID BIOFUELS

У статті наведено характеристику енергетичних культур. Проаналізовано структуру площ під енергетичними культурами в Україні. Визначено потенціал енергетичних насаджень в Україні. Проаналізовано критерії сталості біопалива згідно з Директивою 2009/28/EG. Здійснено порівняльну характеристику енергетичних рослин для виробництва твердого біопалива. Проаналізовано особливості вирощування біоенергетичних культур, зокрема верби, тополі, міскантусу і світчграсу. Побудовано блок схему фаз проходження біомаси, що обумовлюють її якість як сировини для виробництва біопалива. Означено технологію виробництва твердого біопалива. Здійснено SWOT-аналіз використання енергетичної сировини на виробництво біопалива. Визначено можливі напрями використання енергетичних культур. Сформовано комплексну логістичну модель виробництва, переробки та використання біомаси з біоенергетичних культур. Запропоновано заходи щодо розвитку ринку твердого біопалива з біоенергетичної сировини в Україні.

Rising energy prices and the degradation of the ecological situation of the environment as a result of the growing consumption of fossil fuels are prompting humanity to use biomass for energy needs. The main industry producing biomass is the agricultural sector. Together with the phasing out of food crops for biofuel production, plant biomass energy has become one of the most dynamic aspects of the modern global energy market, with leading governments seeking to adopt existing renewable energy policies and regulations to stimulate non-food biomass production. Of all renewable energy sources, it is expected that the largest contribution, especially in the short and medium term, will come from biomass. Fuels derived from energy crops are not only potentially renewable, but are also reasonably similar in origin to fossil fuels (which also originate from biomass) to provide direct substitution. Bioenergy crops are easy to store, transport, affordable, and can be converted to a wide range of energy sources using existing and new conversion technologies, and thus could be a powerful alternative to traditional fuels in the twenty-first century. Characteristics of energy crops were given in the article. The structure of areas under energy crops in Ukraine was analyzed. The potential of energy plantations in Ukraine was determined. The sustainability criteria for biofuels under Directive 2009/28 / EG was analyzed. Comparative characterization of energy plants for the production of solid biofuels was carried out. Peculiarities of growing bioenergy crops, in particular willow, poplar, miscanthus and switchgrass, were analyzed. The block diagram of the phases of biomass, which determine its quality as a raw material for biofuel production was formed. The technology of solid biofuel production was analyzed. SWOT-analysis of the use of energy raw materials for biofuel production was carried out. Possible uses of energy crops were identified. A comprehensive logistics model for the production, processing and use of biomass from bioenergy crops was formed. Measures to develop the market for solid biofuels from bioenergy feedstock in Ukraine were proposed.

Ключові слова: біопалива, біоенергетика, сировина, тверде біопаливо, енергетичні культури.

Key words: biofuels, bioenergy, feedstock, solid biofuels, energy crops.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Підвищення цін на енергоресурси та погіршення екологічного стану навколишнього середовища внаслідок зростаючого споживан-

ня викопних видів палива спонукають людство до використання біомаси на енергетичні потреби. Основною галуззю, що виробляє біомасу, є аграрний комплекс. З кожного поля щорічно

можна збирати два урожаї: продовольчий та енергетичний.

Разом з поступовою відмовою від продовольчих культур на виробництво біопалива, енергія рослинної біомаси стала одним з найбільш динамічних аспектів сучасного глобального енергетичного ринку, на основі якого уряди провідних країн світу прагнуть прийняти існуючу політику в галузі поновлюваних джерел енергії та регулюючі механізми для стимулювання розвитку виробництва непродовольчої біомаси.

Очікується, що з усіх відновлюваних джерел енергії, найбільший внесок, особливо у коротко- та середньостроковій перспективі, буде отримано від біомаси. Паливо, отримане з енергетичних культур, не тільки потенційно поновлюване, але також досить схоже за походженням на викопне паливо (праосновою якого є також біомаса), та може забезпечити пряму заміну. Біоенергетичні культури зручні для зберігання, транспортування, мають доступну ціну і можуть бути перетворені в широкий спектр енергоносіїв з використанням існуючих і нових технологій перетворення і, таким чином, потенційно можуть стати ваговою альтернативою традиційному паливу в двадцять першому столітті.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженням особливостей виробництва біопалива займається радянських вчених за кордоном та в Україні, зокрема, К. Зулауф [25], Г. Калетнік [20], Г. Гелетука, М. Роїк [14], В. Сінченко, О. Ганженко, О. Шпичак, В. Бондарь, М. Кулик [22—24] та ін. Однак, глибшого дослідження потребує питання ефективності вирощування та переробки біоенергетичних культур на тверде біопаливо.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою статті є аналіз потенційних видів біоенергетичної сировини на виробництво твердого біопалива та формування практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності виробництва біопалива з біоенергетичних культур в Україні.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Висока вартість викопного палива та розвиток технічного прогресу зробили можливим появу енергетичних систем на біомасі, що дозволяють отримувати енергію прямо або опосередковано за допомогою процесів спалювання,

піролізу або газифікації. Ці системи стають дедалі ефективнішими, надійнішими та чистішими.

Після різкого підвищення ціни на газ у 2014 році в Україні почала стрімко зростати кількість котелень, які працюють на відновлюваних джерелах енергії, переважно твердопаливних котлів. Попит, який постійно зростає, призвів до того, що вже зараз постало питання, де брати сировину за прийнятними цінами. Обов'язковою передумовою для успішного переходу на тверде біопаливо та розвитку біоенергетики загалом є наявність місцевих ресурсів на конкретній території. У деяких західноєвропейських країнах, зокрема в країнах Скандинавії, Польщі та Данії, знайшли ефективний заміник твердої біомаси лісового походження — енергетичні культури, деревні (верба, тополя, павловнія, інші) та трав'янисті (міскантус, свічграс, інші). Вирощування такої сировини залежить лише від природних умов — якості ґрунту і клімату.

Енергетичні культури — це рослини, які спеціально вирощують для використання безпосередньо як паливо, або для виробництва біопалива [16]. Загальна характеристика енергетичних культур для виробництва біопалива наведена на рисунку 1.

На відміну від продовольчих культур, енергетичні рослини не мають особливих вимог до ґрунту, їх можна вирощувати на деградованих землях. За площами земель, задіяними під плантації енергетичних культур серед країн ЄС лідирують Італія — 57 тис. га (найбільші площі в Європі), Польща — 13 тис. га, Швеція — 12 тис. га, Німеччина — 11 тис. га, Данія — 10 тис. га, Фінляндія — 8 тис. га [19].

Вирощування та використання на біопаливні цілі спеціальних рослин є дієвим заходом ефективного функціонування енергоне залежних сільських територій. Ці рослини називають енергетичними культурами, вони переважно багаторічні, добре пристосовані до умов вирощування, здатні формувати високу врожайність біомаси. Біомаса енергетичних культур характеризується низьким вмістом хімічних елементів, містить значну кількість лігніну та целюлози, в окремих рослинах — цукор та крохмаль, і є відмінною сировиною для виробництва енергоємних біопалив.

Енергетичні культури — це рослини, які спеціально вирощують для використання в якості палива або для виробництва біопалива. До них відносять трав'янисті рослини, чагарники, швидкоростучі дерева, або інші види рослин, фітомаса яких може викорис-



Рис. 1. Характеристика енергетичних культур

Джерело: сформовано автором на основі опрацьованої літератури [4; 13; 16].

товуватися як сировина для виробництва біопалив.

Порівняно із однорічними рослинами, багаторічні енергокультури мають значно вищу продуктивність надземної вегетативної маси, що має тенденцію до збільшення з кожним роком використання. Не менш важливою особливістю багаторічних енергетичних культур є продукування значного обсягу рослинних решток після закінчення вегетації. Що в свою чергу за наявності вологи та при взаємодії із ґрунтовою біотою має вплив на динаміку органічної речовини ґрунту [7].

Порівняно із однорічними рослинами, багаторічні енергокультури мають значно вищу продуктивність надземної вегетативної маси, що має тенденцію до збільшення з кожним роком використання. Не менш важливою особливістю багаторічних енергетичних культур є продукування значного обсягу рослинних решток після закінчення вирощування.

В Україні проводиться широка науково-дослідна робота щодо енергетичних культур. Великий вклад у цей напрям роботи вносить Всеукраїнський науково-навчальний консорціум, до складу якого входять Вінницький національний аграрний університет в складі власне університету, 7 коледжів, Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України в складі інституту, 5 дослідно-селекційних станцій та 2 дослідних господарств та Інститут продо-

вольчих ресурсів НААНУ з структурними підрозділами.

Потенціал для вирощування енергетичних культур значною мірою залежить від наявності землі, враховуючи, що необхідно задовольняти зростаючий в усьому світі попит на продукти харчування в поєднанні із захистом навколишнього середовища, сталим управлінням ґрунтами і водними запасами та іншими вимогами сталості.

На сьогодні в Україні досліджується більше 20 видів швидкоростучих енергетичних культур, які доцільно вирощувати для отримання рослинної біомаси. До енергетичних культур належать швидкоростучі дерева різних видів верби і тополі, однорічні та багаторічні трав'янисті рослини, наприклад сорго, цукровий очерет, міскантус, амарант, гірчак гострокінцевий, горець сахалінський, мальва пенсильванська, румекс, просо лозове, гібридний тютюн. До енергетичних культур водоростей відносять хлорелу, дуналіеллу, батріококус та ін.

Провести точний обрахунок площ під засадженнями енергетичних культур в Україні доволі складно, адже досі не затверджена єдина стандартизована система для вимірювання та обліку ресурсів твердої біомаси лісового й аграрного походження. Нестача такої інформації, особливо про енергетичні культури, перешкоджає розробці та впровадженню сталих енергетичних політик і проектів як на території конкретної області, так і в державі загалом.

На сьогодні площа плантацій енергетичних

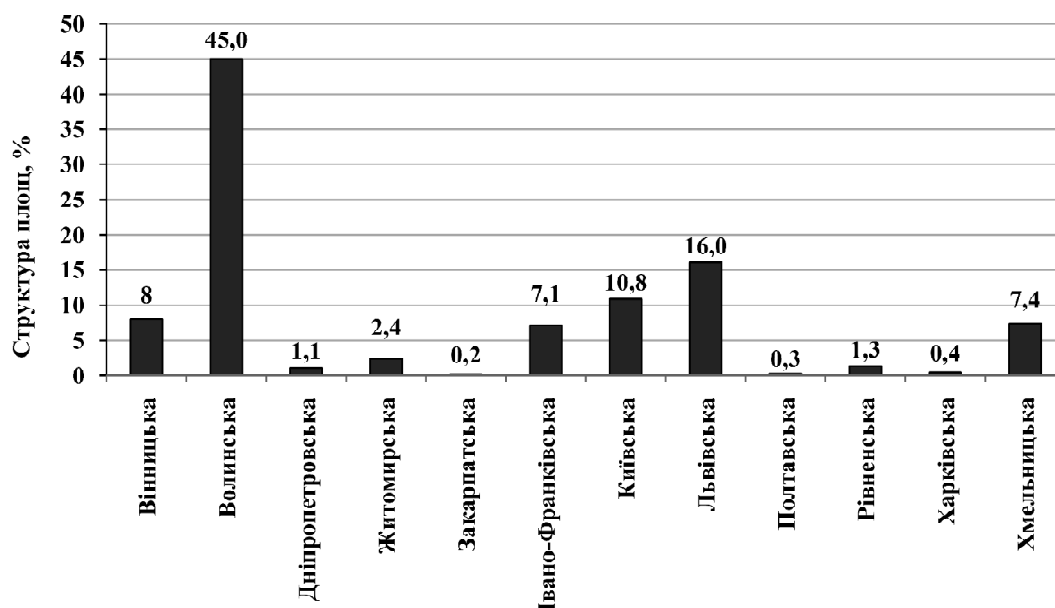


Рис. 2. Структура площ під енергетичними культурами в Україні, %

Джерело: сформовано авторами за даними Державного комітету статистики України [12].

рослин в Україні становить близько 6,4 тис. га, з-поміж яких найбільші площі займають насадження верби (близько 3 тис. га) та міскантусу (близько 2 тис. га). Під енергетичними культурами найбільші площі зосереджені у Волинській області (48,0 %), значно менше — у Львівській, Київській, Івано-Франківській та Хмельницькій областях, в інших областях — менше 100 га (рис. 2).

З-поміж загальної площі земель, придатних для вирощування сільськогосподарських культур, 8 млн га є малопродуктивними (маргінальними) землями [5]. Серед цих земель близько 3,5 млн га виведені із сівозмін через їх низьку родючість, схильність до ерозії, надмірну зволоженість тощо [2]. Вирощування швидко-ростучих високоврожайних енергетичних культур на даних землях збереже ґрунти від ерозії, збільшить потужність гумусного шару і загалом покращить екологічний та енергетичний стан країни.

Окрім того, вирощування енергетичних культур на малопродуктивних землях не конкуруватиме з можливістю вирощування на них продовольчих

культур і відповідатиме критеріям сталості, відповідно до вимог Директиви 2009/28/ЕС (рис. 3).

З-поміж енергетичних культур, для ґрунтово-кліматичних зон України, за потенціалом врожайності біомаси, рівнем енергопродуктивності, комплексом адаптивних властивостей, господарсько-корисних ознак та потенціалу продуктивності та можливості вирощування на не маргінальних землях (не сільськогосподарського призначення) вирізняють такі енергетичні культури: просо прутноподібне (*Panicum virgatum* L.), міскантус гігантський (*M. giganteus*), енергетична верба (*Salix* L.) та енергетична тополя (*Populus*). Найбільш важливою па-

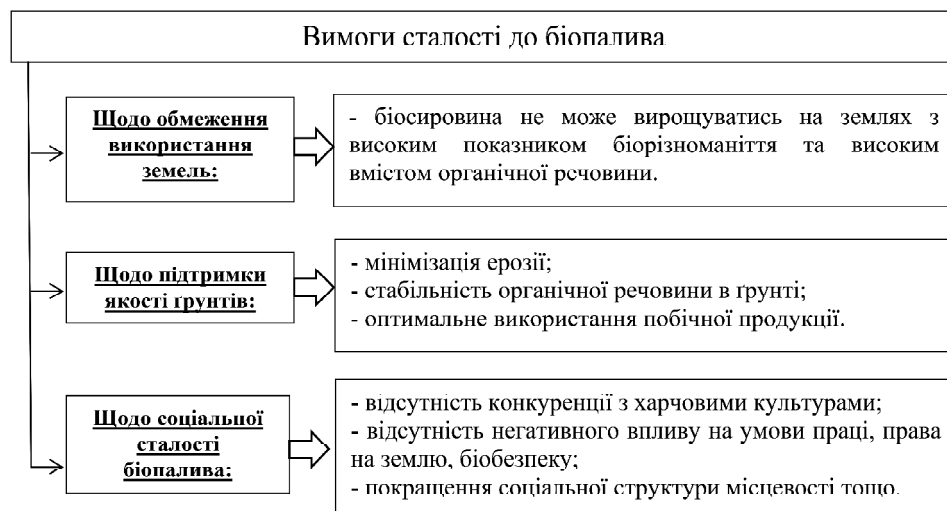


Рис. 3. Критерії сталості біопалива згідно з Директивою 2009/28/ЄГ

Джерело: узагальнено автором на основі [17].

Таблиця 1. Порівняльна характеристика енергетичних рослин для виробництва твердого біопалива

Культура	Вихід сухої маси, (т/га)/рік	Нижча теплота згорання, МДж/кг сух.м.	Виробництво енергії, ГДж/га	Вміст води в момент збору врожаю, %	Зола, %
Міскантус гігантський	8,0-32,0	17,5	311,9-419	15,0	3,7
Світчграсс (просо прутіподібне)	9,0-18,0	17,0	266,8-312,2	15,0	6,0
Верба	8-20	18,5	280-315	53	2,0
Тополя	9-16	18,7	170-300	49	1,5

Джерело: сформовано за даними [15; 23].

Таблиця 2. Особливості вирощування біоенергетичних культур

Енергетична культура	Вимоги до ґунту, рН	Кількість опадів, мм/рік	Глибина залягання ґрунтових вод	Життєвий цикл, років	Періодичність збору врожаю
Верба	5-7	650-700	до 2 м	20-25	1 раз на 3 роки
Тополя	6	>600	до 2 м	20-25	1 раз на 2-3 роки
Міскантус	5,5-7,5	500-700	4 м	до 20	Щорічно
Світчграсс (просо прутіподібне)	5,5-7	380-760	5 м	10-15	Щорічно

Джерело: сформовано за даними [5].

ливно-технологічною характеристикою біомаси, що використовується як тверде біопаливо, є її теплотворна здатність, яка залежить від багатьох чинників: генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо. Практичні розрахунки ефективності використання твердого біопалива проводять, використовуючи значення нижчої теплотворної здатності в робочому стані палива, яке утворюється при спалюванні одиничної маси палива. Порівняльну характеристику енергетичних рослин для виробництва твердого біопалива наведено у таблиці 1.

Вибір енергетичної культури для промислового вирощування залежить від кількох природних чинників: типу ґрунту, вологості ґрунту / кількості опадів, виду ландшафту. Вимоги до вирощування та особливості вегетації основних енергетичних культур наведено у таблиці 2.

Під час вибору ділянки для плантації одним із основних параметрів, який треба оцінити, є ґрунти. Зазвичай енергетичні культури добре ростуть на середніх і важких суглинчастих ґрунтах, які добре аеровані, за кислотності у межах рН 5—7,5. Здатність ґрунту утримувати вологу теж важлива, тому вирощування на легких піщаних ґрунтах не рекомендується через можливість проблеми з доступністю води.

З іншого боку, вибір для ділянки заплави і чутливих водно-болотних угідь може ускладнити роботу важкої техніки, особливо для садіння та збору врожаю. Негативним впливом на вологі ґрунти може стати ущільнення ґрунту, тому для таких ґрунтів використання важкої техніки рекомендується або у дуже сухі періоди,

або коли ґрунт заморожений. Мілі (тобто з тонким шаром гумусу) ґрунти теж використовувати не рекомендується через низьку врожайність на них.

Більша потреба у воді енергетичних культур, ніж сільськогосподарських, може допомогти зменшити витоки небезпечної кількості поживних речовин у прилеглі водойми або ґрунтові води в разі вирощування плантацій енергетичних культур як буферних зон на територіях з інтенсивним веденням сільського господарства.

Енергетична верба

Енергетична верба є найбільш розповсюдженою культурою в світі. Це пов'язано з тим, що генотип верби — один із найбагатших після рису, і це дає можливість створювати нові сорти та гібриди для різноцільового використання. Продуктивність верби, за даними експертів, становить 10—15 т/га (за сприятливих ґрунтово-кліматичних умов урожайність зростає до 25—30 т/га) сухої маси в рік, що перевищує за продуктивністю традиційні лісові насадження у 14 разів [13].

Енергетична верба — екологічно чиста сировина, що використовується як відновлюване тверде біопаливо органічного походження, яке при згорянні в котлах не порушує баланс вуглецю в атмосфері. Це різновид твердого біопалива, придатний для промислового виробництва теплової та електричної енергії за ціною, удвічі меншою порівняно з використанням газу. Енергетична верба позитивно впливає на екологію та довкілля. Один гектар плантації поглинає з повітря понад 200 т CO₂ за три роки.

За умови достатньої зволоженості ґрунту потрібно лише 1% гумусу для того, щоб росли-

на отримала необхідну кількість поживних речовин і в майбутньому забезпечила хорошу врожайність.

Верба може рости на ґрунтах різного типу. Рослини на плантаціях висаджують навесні саджанцями в шаховому порядку. Кількість саджанців на 1 га залежить від запланованого циклу збору майбутнього врожаю, зазвичай кількість саджанців коливається в межах 20—25 тис на 1 га.

Основна інтенсивність припадає на перші 2 роки. У підготовчий рік проводяться такі технологічні операції з обробітку ґрунту, як глибоке дискування, внесення гербіциду та добрив, а також оранка. Технологічні операції першого року включають передпосадкову культивування, садіння та догляд за насадженнями. Догляд за плантацією першого року є дуже важливим для рослин, які ще вкорінюються і мають недостатньо розвинену кореневу систему. Процес повинен включати технологічні операції із захисту від бур'янів та шкідників.

Хоча енергетичні культури мають здатність добре рости на малопродуктивних сільськогосподарських землях, для забезпечення росту рослин на початковому етапі доцільне внесення у перший рік добрив, що мають належну кількість поживних речовин, недостатніх у ґрунті. Також у перший рік після висадження рекомендується проводити гербіцидний захист, пізніше сильно розвинена коренева система гальмує ріст бур'янів.

Вирощування верби має ряд переваг, порівняно з традиційним веденням лісового господарства. Завдяки високій інтенсивності вирощування, можливості застосування при експлуатації плантацій мінімально можливого обороту рубання (1—3 роки) вирощування енергетичної вербової сировини більш наближене до сільськогосподарського виробництва.

Збір врожаю виконується на третій рік існування плантації та в подальшому кожен третій рік. Для 24-річної плантації кількість зборів врожаю дорівнює 8, при чому врожайність першого і останнього років буде на 30—40% меншою. Верба стійка до заморозків, посухи та шкідників, може рости на пагорбах, у ярах і на землях, що є непродуктивними для традиційного рослинництва, захищає ґрунти від ерозії.

Теплотворна здатність верби становить близько 18 МДж/кг сухої речовини. Одна тона верби вологістю 40% забезпечує 1 Гкал тепла [10].

Верба не виділяє шкідливих продуктів під час згорання і має високу тепловіддачу: 1 т сухої біомаси замінює понад 500 м³ природно-

го газу або 700 кг бурого вугілля. З біомаси можна виробляти як тверде гранульоване біопаливо у вигляді брикетів і пелетів, так і за наявності відповідного обладнання в разі безкисневого спалювання — синтез-газ [10].

Енергетична тополя

Тополя (*Populus*) — родина вербові (*Salicaceae*). Це близький родич верби, яка також знайшла своє застосування у біоенергетиці. Оскільки і вербу її у Західній Європі вирощують для опалювання. У наших кліматичних умовах серед усіх інших дерев саме тополя росте найшвидше, в подібних умовах з вербою. Для росту вона потребує багато вологи і світла, тому найбільший вихід біомаси буде в умовах, наближених до тих, що у долинах річок.

Енергетична тополя належить до багаторічних деревовидних енергетичних культур. Технологія вирощування енергетичної тополі схожа до технології вирощування енергетичної верби. Агротехнологічні вимоги: густина посадки — до 9 000 шт./га, а оптимальна довжина саджанця — 25 см, при посадці щонайменше одна брунька саджанця має залишитися над поверхнею землі. Рослину висаджують тільки навесні. 10 т тріски з тополі замінює 2500 м³ природного газу.

Тополя досить давно використовується через її швидкий ріст та стійкість до шкідників і можливість вирощування на бідних ґрунтах. У більшості випадків вона не потребує застосування пестицидів та добрив. Тополя може рости на забруднених, малородючих ґрунтах, зводячи до мінімуму конкуренцію між біоенергетичними і продовольчими культурами.

Останнім часом у зв'язку з порівняно швидким ростом та утворенням біомаси насадження тополі все активніше використовують як регенеративне джерело енергії для виробництва біопалива. Її деревина досить легка, широко використовується в технічних цілях. Тополя вбирає в себе велику кількість вуглекислого газу, завдяки їй можна отримати прекрасне екологічно чисте паливо. У промислових насадженнях вихід сухої маси тополі становить до 6—12 т/га. Насадження тополі залишаються продуктивними до 15—20 і більше років, а біомасу протягом даного періоду можна збирати через кожні 3—6 років [15].

Міскантус гігантський

Міскантус гігантський — це багаторічна трав'яниста рослина з C4-схемою фотосинтезу. Родина тонконогових (*Poaceae*). Рослини міскантусу досягають висоти 220—310 (до 450—500) см. Число пагонів, що формуються в кущі — це зазвичай 10—15 шт. (інколи — до

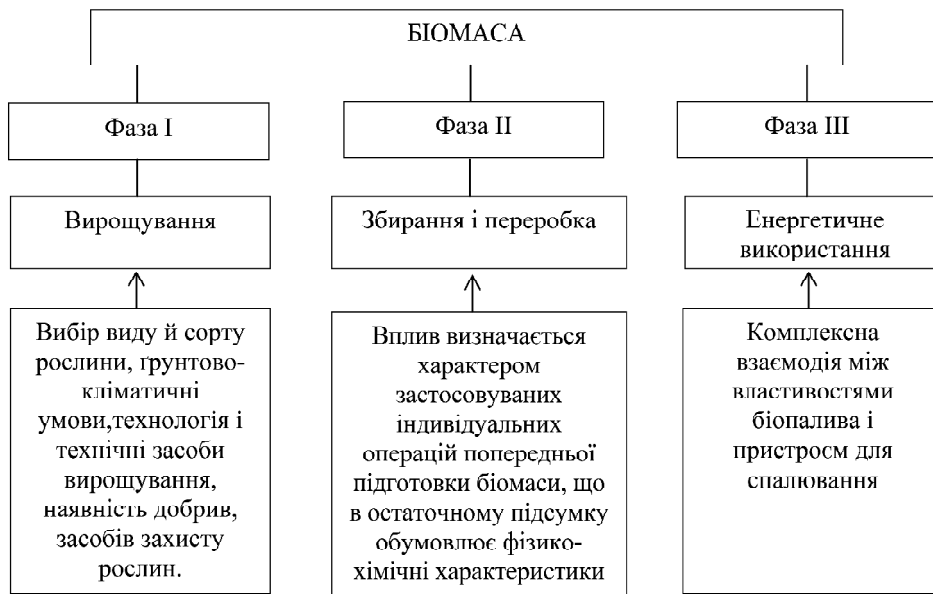


Рис. 4. Фази проходження біомаси

Джерело: узагальнено автором на основі [2; 18].

70 шт.). Від першого і до п'ятого року вегетації, щорічно відмічають збільшення пагонів у рослині, що пов'язують із розростання ризом [7]. Розмножують міскантус вегетативно, за допомогою видозмінених потовщених коренів — ризом, які при пересаджуванні здатні відтворювати цілісний організм [9]. Ідеальні кліматичні умови для отримання хорошого врожаю: середня річна температура 7^о і не менше 600 мм опадів на рік. Життєвий цикл рослин міскантусу триває 15—20 років.

Підготовка до закладки плантації починається восени і передбачає три види робіт: оранку, культивування, внесення комплексу добрив. Навесні ґрунт готується до висадки ризом міскантуса: відбувається оранка та культивування. Через два роки після посадки рослин біомасу можна збирати промисловим способом, починаючи з четвертого року, плантація виходить на максимальну продуктивність і дає біомасу протягом 20—25 років.

Догляд за насадженнями міскантусу поєднує боротьбу з бур'янами, розпушування міжрядь, підживлення посівів (з урахуванням наявних елементів живлення в ґрунті) та ін. [8].

Після зимового опадання листя і пагонів рослина висихає до рівня вологості 13—15%. Збір урожаю соломки зазвичай відбувається в лютому-березні, починаючи з другого року вегетації, коли середня продуктивність плантації досягає 6—8 т/га. Після третього року продуктивність досягає 13—15 т/га, а з четвертого — 20—22 т/га. Солома забирається за допомогою ріжучого прибирального механізму і прес-

підбирачів для пакування в тюки. Також можливий збір врожаю за технологією збору подрібненої тріски. Вибір способу збору соломки залежить від вимог до подальшої переробки отриманої біомаси.

Зібрана фітомаса міскантусу може використовуватися для виробництва паливних брикетів, пелетів (паливних гранул). За вирощування міскантусу витрати значно нижче, ніж для інших сільськогосподарських культур. Його тривале культивування збільшує біологічну варіативність дикої

природи (різноманітність тваринного світу) і дозволяє щорічно (розпочинаючи з другого-третього року вегетації) отримувати високий врожай для енергетичного використання. Енергетична ємність біомаси може становити 17—18 Мдж/кг, а енергетична продуктивність рослин досягає 67—84 (до 130) Гкал/га.

Нині в Україні зареєстровані наступні сорти міскантусу гігантського: Верум, Осінній зорецвіт, Гулівер, Біотех, які внесені в Реєстр сортів рослин [14].

Загалом міскантус гігантський є типовою багаторічною культурою, що має добрі пристосувальні властивості до умов Лісостепу України. Рослини міскантусу здатні продукувати високу врожайність енергоємної біомаси. Біосировина міскантусу гігантського є якісним компонентом для виготовлення різних біопалив (рідких, твердих та газоподібних). Для генерації тепла та електроенергії міскантус використовують у вигляді соломки, підсушених гранул, пелет та тріски. Окрім енергетичних потреб, він може використовуватися в хімічній галузі як компонент для експлуатаційних матеріалів і споживчих хімічних речовин.

Світчґрас (просо прутіподібне)

Світчґрас, або просо прутіподібне (*Panicum virgatum*), — це прямостояча, теплолюбна, багаторічна рослина, вид проса, в природних умовах росте в Північній Америці вздовж 45—55^о північної довготи. Світчґрас є однією з перспективних багаторічних рослин для виробництва біопалива. Рослина має прямостоячі стебла різного кольору, які досягають 0,5—2,7 м у ви-

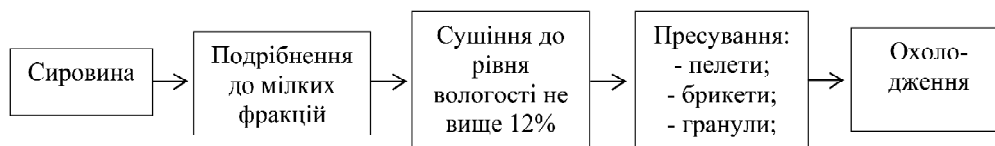


Рис. 5. Технологія виробництва твердого біопалива

Джерело: узагальнено автором на основі [2; 23].

соту, розмножується насінням і кореневищем. Суцвіття — відкрита волоть довжиною 15—50 см. Потужна коренева система може досягати до 3 м у глибину [1].

Просо прутоподібне належить до групи рослин С4, тому має більш швидкий процес фотосинтезу, ніж рослин С3 при високій інтенсивності світла і високих температур. З цієї причини, просо прутоподібне використовує воду і азот більш ефективно, а рослинний ценоз є більш стійким до стресових умов вирощування.

За вирощування світлграсу не відбувається виснаження ґрунтів — його потужна коренева система та рослинні залишки збагачують ґрунт на поживні речовини та сприяють інтенсивно-

му розвитку мікроорганізмів, підвищенню процесів гуміфікації. Важливою агротехнічною ознакою світлграсу як багаторічної культури є здатність збагачення ґрунту органічними речовинами.

Під час спалювання паливна маса світлграсу не коксується, а співвідношення CO_2 у поглинанні рослинами й викидах у атмосферу оптимальне [11].

Продуктивність фітомаси змінюється в межах від 6 т сухої речовини на ґрунтах з низькою родючістю до 25 т на ґрунтах з високою родючістю. За умови належного догляду можна збирати урожай протягом 15 років. Існує два основних екотипи світлграсу: низовинні та височинні. Низовинні види вирощують на воло-

Таблиця 3. SWOT-аналіз використання енергетичної сировини на виробництво біопалива

	Сильні сторони	Слабкі сторони
Внутрішнє середовище	<ul style="list-style-type: none"> - Наявність значних площ маргінальних земель, придатних для вирощування енергетичних культур. - Відновлення непродуктивних земель. - Простота і зручність переробки. - Наявність великої кількості енергетичного обладнання на ринку України. - Висока ефективність вирощування та переробки сировини. - Наявність компаній, що мають успішний досвід вирощування та використання енергетичних культур в Україні 	<ul style="list-style-type: none"> - Відсутність практики довгострокових контрактів на постачання біопалива. - Відсутність затверджених методик перевірки якості поставленого палива. - Значні капітальні затрати пов'язані з недосконалістю організації повного логістичного ланцюга із заготівлі, складування та постачання сировини. - Труднощі із забезпеченням стабільних поставок біопалива необхідної якості
	Можливості	Загрози
Зовнішнє середовище	<ul style="list-style-type: none"> - Створення нових робочих місць та розвиток сільських територій. - Розвиток малого та середнього бізнесу. - Підвищення інвестиційної привабливості регіонів, де вирощуються енергетичні культури. - Зменшення енергозатрат для громадян у порівнянні з використанням традиційного палива. - Зміцнення енергетичної безпеки держави. - Зменшення викидів парникових газів. - Розвиток суміжних виробництв в регіоні. - Залучення малопродуктивних та незадіяних земель. - Використання плантацій енергетичних дерев як захисних лісосмуг, для запобігання водній і вітровій ерозії ґрунтів, в системах контурно-меліоративного землеробства на силових землях тощо. - Збагачення ґрунту мінералами, мікроелементами та речовинами природного походження, внаслідок чого такі земельні ресурси матимуть низький ступінь деградації і швидко відновлюватимуться 	<ul style="list-style-type: none"> - Низька ефективність діючих державних та регіональних програм із розвитку біоенергетики та місцевих видів палива. - Природні катаклізми, які можуть пошкодити врожай. - Експорто-орієнтоване виробництво гранул, пелетів та брикетів. - Недостатньо сприятливі умови для залучення інвестицій, у т.ч. іноземних (політична нестабільність, пандемія COVID-2019)

гих ґрунтах — вони мають високі, товсті, грубі стебла, які ростуть кущами. Височинні типи адаптовано до сухого клімату — вони мають тонші стебла, ніж низовинні та більшу їх кількість [6].

Структура біомаси світчґрасу має типові складові для біопаливної сировини: близько 50 % вуглецю, 43 % кисню і 6 % водню. Суха біомаса має невисокий вміст золи — до 2—4 %, порівняно низький вміст калію і натрію у поєднанні з підвищеним вмістом кальцію і магнію, що сприяють високій температурі згоряння і зменшують ймовірність шлакування при спалюванні в котлах. Собівартість біомаси світчґрасу в різних країнах коливається від 15 до 40 євро/т сухої речовини [3].

Перевагами вирощування біомаси світчґрасу для навколишнього середовища є: відсутність потреби використання пестицидів, боротьба з ерозією ґрунтів, сприяння збереженню природних умов, поліпшенню структури ґрунту та зменшення викидів парникових газів. Зі збільшенням використання біомаси в Україні світчґрас може відігравати важливу роль у постійному забезпеченні достатньої кількості виробленої біомаси з низькою собівартістю вирощування цієї культури.

Загалом світчґрас (просо прутоподібне) та міскантус гігантський в більшій мірі досліджують в якості біопаливної сировини для виготовлення біопалив та отримання теплової енергії. Водночас їх використовують у тваринництві та птахівництві, для виробництва целюлози для виготовлення паперу, армування волокна, у будівельній промисловості, а також як сировину для пластмасових композитів. Енергетичні культури також мають потенціал для секвестрації (накопичення) вуглецю в ґрунті та поновлення органічної речовини в ньому, очищення забруднених стоків та середовища (фіторе mediaційні властивості), рослини також використовують як компонент для створення пасовищ та ін.

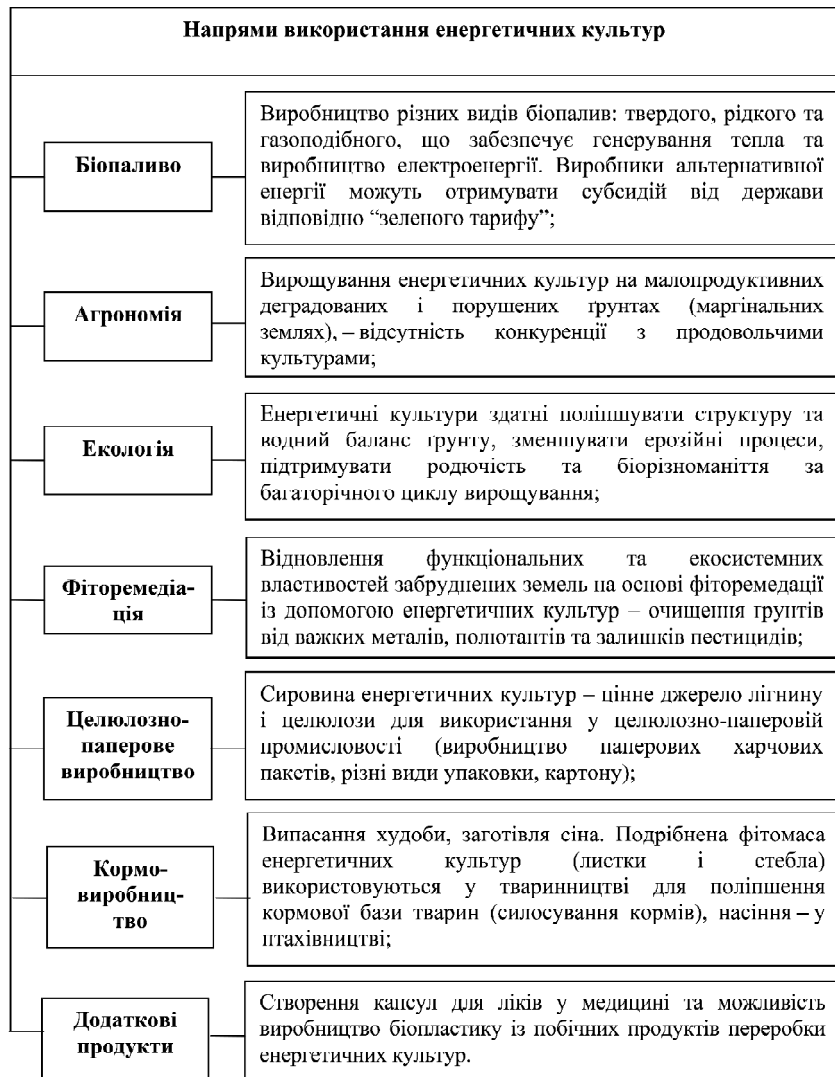


Рис. 6. Напрями використання енергетичних культур

Джерело: сформовано авторами за даними [21; 22].

Сільськогосподарська біомаса, що використовується як паливо, має низку особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів, що застосовують для опалення. Деякі з характеристик твердого біопалива, передусім зовнішні (щільність, розміри часток, специфічність поверхні) через подрібнення та ущільнення можуть бути змінені, проте його основні паливно-технологічні характеристики прийнято розглядати як сталі.

Якість біопалива обумовлена трьома фазами, які проходить біомаса енергетичного призначення (рис. 4).

Нині у світі є декілька економічно доцільних технологій підготовки та переробки біомаси на тверде паливо. Найбільш поширеними є пресування в результаті чого отримують пелети, брикети або гранули. Процес виробництва твердого палива з біомаси є доволі простий і зазвичай включає такі технологічні операції (рис. 5).

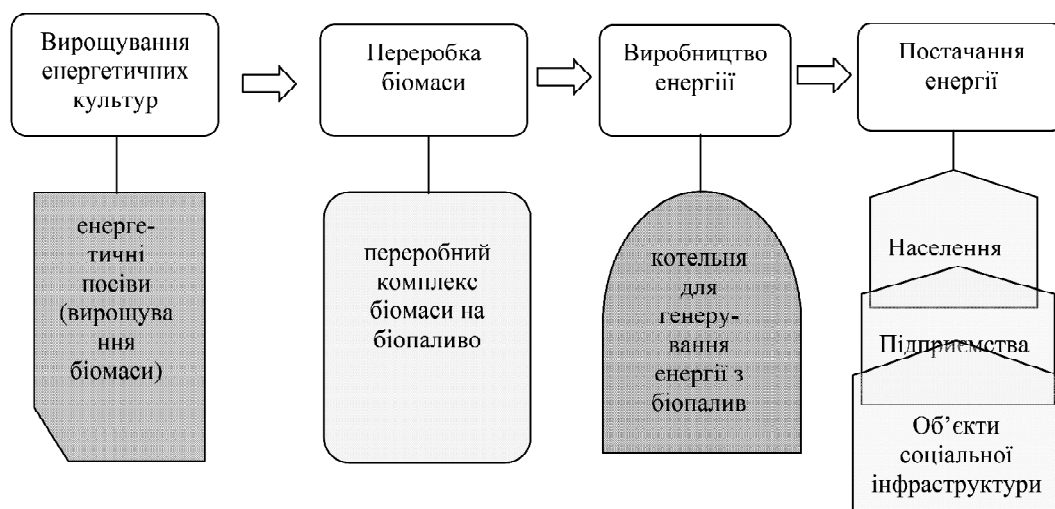


Рис. 7. Комплексна логістична модель виробництва, переробки та використання біомаси з біоенергетичних культур

Джерело: розроблено автором за даними [23; 24].

Порівняно з традиційними видами палива, використання біомаси на виробництво палива пов'язано з певними труднощами. Це пояснюється тим, що біомаса характеризується: нижчою щільністю та теплотворною здатністю;

сезонністю утворення; додатковим вмістом вологи; різноманітним термохімічним характеристикам та хімічному складу, що залежать від виду біологічної сировини, погоднокліматичних умов та агротехнологічних факторів; більши-



Рис. 8. Заходи щодо розвитку ринку твердого біопалива з біоенергетичної сировини в Україні

Джерело: розроблено автором.

ми габаритами й вартістю систем для зберігання, транспортування, підготовки і подачі палива в котел. SWOT-аналіз використання енергетичних культур на виробництво біопалива наведено у таблиці 3.

Окрім біопаливних переваг, енергетичні культури мають наступні напрями використання (рис. 6).

Ефективна модель виробництва та енергоконверсії біомаси передбачає вирощування енергетичних культур, отримання біомаси, її переробки та постачання енергії до споживачів. При цьому рекомендовано дотримуватись замкненого безвідходного циклу виробництва — постачання енергії. Для раціонального використання біопалива із біомаси енергокультур (отриманої на маргінальних землях) та забезпечення альтернативною енергією споживачів сільських територій пропонується така схема (рис. 7).

Створення інфраструктури, що передбачає залучення ресурсу агропідприємств для вирощування енергетичних культур, збирання біомаси та переробних підприємств за участі енергосервісних компаній дозволить стабільно постачати трансформований енергоресурс до споживачів.

Задля розвитку процесу вирощування біоенергетичної сировини та підвищення ефективності виробництва твердого біопалива пропонуємо ряд заходів (рис. 8).

ВИСНОВКИ

Таким чином, вирощування енергетичних культур та їх використання як сировини для виробництва біопалива в Україні — новий та перспективний напрям для розвитку бізнесу у сфері альтернативної енергетики. Сьогодні цей напрямок альтернативної енергетики у державі перебуває на етапі розвитку. Наявний природний потенціал, сприятливі кліматичні умови та великі території земельних площ, непридатних для ведення сільського господарства, які можна використовувати під плантації енергетичних культур, поки що використовуються в Україні не повною мірою. Однією з причин, що гальмує розвиток вирощування біоенергетичних культур в Україні це — недосконалість нормативно-правового регулювання галузі відновлюваної енергетики в Україні. Окрім того, відсутність механізмів надання пільг та дотацій компаніям, які готові інвестувати у "зелену енергетику", створює значні фінансові навантаження для інвестора на початковому етапі закладання плантації, що своєю чергою значно сповільнює розвиток такого бізнесу в Україні.

Вирощування "енергетичних культур" для виробництва біопалива матиме ряд переваг, зокрема, збереже від ерозії гумусний шар ґрунту, сприятиме розвитку флори, фауни і загалом поліпшить екологічний і енергетичний стан країни та її енергозабезпеченість. Водночас важливим є створення інфраструктури для вирощування, переробки і використання біоенергетичної сировини, що передбачає залучення ресурсу сільського господарства для вирощування енергокультур, збирання та переробку біомаси, постачання трансформованого енергоресурсу до споживачів.

Енергоконверсія біопалив у різні види енергії на місцевому рівні дозволить знизити обсяги використання непоновлюваних джерел енергії. Це в свою чергу дасть змогу господарствам, задіяним в цьому секторі, одержати додатково робочі місця, дешеві енергоносії, а місцеві соціальні заклади та виробництво забезпечити альтернативною енергією і, що не менш важливо — зменшити екологічне навантаження на довкілля.

Значні земельні площі, незадіяні в сільському господарстві, та географічне розташування роблять Україну однією з найпривабливіших країн у Європі для сталого вирощування енергетичних культур без шкоди для рекреаційних або природоохоронних територій. Необхідна ініціатива з боку держави, створення сприятливих умов на законодавчому рівні та залучення інвесторів, сприятимуть розвитку виробництва твердого біопалива з біоенергетичної сировини. Використання ефективною логістичною схемою виробництва та використання біопалива із біомаси енергетичних культур забезпечить населення альтернативною енергією та сприятиме сталому розвитку біоенергетичного сектору сільських територій.

Література:

1. Moser L.E., Vogel K.P. Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass. An introduction to grassland agriculture. 1995. V. 1. P. 409—420.
2. Блюм Я.Б., Гелетуха Г.Г., Григорюк І.П. та ін. Новітні технології біоенергоконверсії. К: "Аграр Медіа Груп". 2010. 326 с.
3. Бузовський Є.А., Витвицька О.Д., Скрипниченко В.А. Нетрадиційні джерела енергії — вимоги часу. Науковий вісник Національного аграрного університету України. 2008. Вип. 119. С. 289—294.
4. Віленчук О. Економічні проблеми природокористування. Економіка України. 2009. № 3. С. 80—87.

5. Ганженко О.М. Особливості вирощування та використання енергетичних культур. Презентація. URL: <https://saee.gov.ua/uk/news/1751>
6. Гументик М.Я. Перспективи вирощування багаторічних злакових культур для виробництва біопалива. Цукрові буряки. 2010. № 4. С. 21—22.
7. Дековець В.О., Кулик М.І. Екологічні особливості та агрозаходи вирощування біомаси міскантусу гігантського для забезпечення енергоефективності сільських територій: колективна монографія; за ред. Т.О. Чайки, І.О. Яснолоб, О.О. Горба. Полтава: Видавництво ПП "Астра". 2020. С. 102—114.
8. Курило В.А., Ганженко О.М., Гументик М.Я., та ін. Методичні рекомендації з технології вирощування і перероблення міскантусу гігантського. К.: ТОВ "ЦП "Компринт". 2016. 40 с.
9. Курило В.А., Рахметов Д.Б., Кулик М.І. Біологічні особливості та потенціал урожайності енергетичних культур родини тонконогових в умовах України. Вісник Полтавської державної аграрної академії. Вип. 1 (88), 2018. С. 11—17.
10. Марченко В. Енергетичні культури в Україні. Agroexpert. 2012. № 9. С. 114—117.
11. Осадчук В.Д., Гунчак Т.І., Сандуляк Т.М. Особливості вирощування світчграсу як енергетичної культури в умовах Буковини. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво. 2017. № 61. С. 102—112.
12. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
13. Пришляк Н.В., Волошина Я.В. Енергетична верба-перспективна альтернативна культура для отримання біопалива. Біоенергетика. 2014. № 1. С. 14—14.
14. Роїк М.В., Гонтаренко С.М., Лашук С.О. Сучасний стан розвитку селекції та реєстрації представників роду *Miscanthus* в Україні та світі. Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2014. Вип. 21. С. 249—254. Реєстр сортів рослин України. URL: <http://service.ukragroexpert.com.ua/index.php>
15. Хіврич О.Б., Квака 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.
16. Чайка Т.О., Яснолоб І.О. Еколого-соціо-економічні переваги вирощування енергетичних культур. Економіка АПК. 2017. № 12. С. 28—34.
17. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028>
18. Elbersen H. W. Switchgrass variety choice in Europe Aspects of Applied Biology. 2001. V. 65. P. 21—28.
19. Official website of the Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
20. Kaletnik H., Pryshliak V., Pryshliak N. Public Policy and Biofuels: Energy, Environment and Food Trilemma. Journal of Environmental Management & Tourism. 2019. T. 10. № 2 (24). С. 479—487.
21. Kalinichenko A., Kalinichenko O., Kulyk M. Assessment of available potential of agrobiomass and energy crops phytomass for biofuel production in Ukraine: Odnawialne zrydla energii: teoria i praktyka. Monograph / pod red. I. Pietkun-Greber, P. Ratusznego, Uniwersytet Opolski: Opole, Kijow. 2017. II: 163—179.
22. Kulyk M., Galytska M., Samoylik M., Zhornyk I. Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine. Agrology. 2019. 2 (1). P. 65—73. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.-14020>
23. Kulyk M., Kalynychenko V., Pryshliak N., Pryshliak, V. Efficiency of Using Biomass from Energy Crops for Sustainable Bioenergy Development. Journal of Environmental Management and Tourism. 2020. Vol. XI, Fall, 5 (45). P. 1040—1053. DOI:10.14505/jemt.v11.5(45).02
24. Kulyk M., Rakhmetov D., Rozhko I., Sipylyva N. Source material of millet of *Panicum virgatum* L. on a complex of economically valuable features in the conditions of the central forest-steppe of Ukraine Sorting and Protection of Plant Variety Rights. 2019. 15, 4. P. 354—364.
25. Zulauf C., Prutska O., Kirieieva E. and N. Pryshliak. Assessment of the potential for a biofuels industry in Ukraine. Problems and Perspectives in Management. 2018. 16(4): 83—90. DOI: [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16\(4\).2018.08](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16(4).2018.08)

References:

1. Moser, L.E. and Vogel, K.P. (1995), "Switchgrass, Big Bluestem, and Indiangrass", An introduction to grassland agriculture, vol. 1, pp. 409—420.
2. Blum, Ya.B. Geletukha, G.G. and Grigoryuk, I.P. (2010), Novitni tekhnolohii bioenerhokonversii [New technologies of bioenergy conversion], K: "Agrar Media Group", 326 p.
3. Buzovsky, E.A. Vytvytska, O.D. and Skrypnychenko, V.A. (2008), "Unconventional energy

sources - the requirements of the time", *Naukovy visnyk Natsional'noho ahrarnoho universytetu Ukrainy*, vol. 119, pp. 289—294.

4. Vilenchuk, O. (2009), "Economic problems of nature management", *Ekonomika Ukrainy*, vol. 3, pp. 80—87.

5. Ganzhenko, O.M. (2017), "Features of cultivation and use of energy crops. Presentation", available at: <https://saee.gov.ua/uk/news/1751> (Accessed 1 December 2020).

6. Gumentik, M.Ya. (2010), "Prospects for growing perennial cereals for biofuel production", *Tsukrovi buriaky*, vol. 4, pp. 21-22.

7. Dekovets V, Kulyk M. (2020), *Ekolohichni osoblyvosti ta ahrozakhody vyroschuvannya biomasy miskantusu hihants'koho dlia zabezpechennia enerhoefektyvnosti sil's'kykh terytorij* [Ecological features and agro-measures of biomass cultivation of giant miscanthus to ensure energy efficiency of rural areas], *Vydavnytstvo PP "Astraiia"*, Poltava, Ukraine.

8. Kurilo, V.L. Ganzhenko, O.M. and Gumentyk, M.Ya. (2016), *Metodychni rekomendatsii z tekhnolohii vyroschuvannya i pererobiannya miskantusu hihants'koho* [Methodical recommendations on the technology of growing and processing giant miscanthus], *TOV "TsP "Komprynt"*, Kyiv, Ukraine.

9. Kurilo, V.L. Rakhmetov, D.B. and Kulyk, M.I. (2018), "Biological features and yield potential of energy crops of the thin-legged family in the conditions of Ukraine", *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, vol. 1 (88), pp. 11—17.

10. Marchenko, V. (2012), "Energy crops in Ukraine", *Agroexpert*, vol. 9, pp. 114—117.

11. Osadchuk, V.D. Gunchak, T.I. and Sandulyak, T.M. (2017), "Features of growing switchgrass as an energy crop in the conditions of Bukovina", *Foothill and mountain agriculture and animal husbandry*, vol. 61, pp. 102—112.

12. Official website of the State Statistics Service of Ukraine (2020), available at: <http://www.ukrstat.gov.ua/> (Accessed 8 December 2020).

13. Pryshliak, N.V. and Voloshina, Ya.V. (2014), "Energy willow is a promising alternative crop for biofuels", *Bioenerhetyka*, vol. 1, pp. 14—14.

14. Roik, M.V. Gontarenko, S.M. and Lashuk, S.O. (2014), "The current state of development of selection and registration of representatives of the genus *Miscanthus* in Ukraine and the world", *Naukovi pratsi instytutu bioenerhetychnykh kul'tur i tsukrovykh buriakiv*, vol. 21, pp. 249—254.

15. Khivrych, O.B. Kvaka, V.M. Kaskiv, V.V. Mamaisur, V.V. and Makarenko, A.S. (2011),

"Energy plants as an alternative to traditional fuels", *Ahrobiolohiia*, vol. 6, pp. 153—157.

16. Chaika, T.O. and Yasnolob, I.O. (2017), "Ecological, socio-economic advantages of growing energy crops", *Ekonomika APK*, vol. 12, pp. 28—34.

17. European Parliament and of the Council (2009), "Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources", available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32009L0028> (Accessed 20 December 2020).

18. Elbersen, H.W. (2001), "Switchgrass variety choice", *Europe Aspects of Applied Biology*, Vol. 65, pp. 21—28.

19. Official website of the Eurostat (2020), available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (Accessed 18 December 2020).

20. Kaletnik, H. Pryshliak, V. and Pryshliak, N. (2019), "Public Policy and Biofuels: Energy, Environment and Food Trilemma", *Journal of Environmental Management & Tourism*, vol. 10, issue 2 (24), pp. 479—487.

21. Kalinichenko, A. Kalinichenko, O. and Kulyk, M. (2017), "Assessment of available potential of agro-biomass and energy crops phytomass for biofuel production in Ukraine", *Odnawialne zrydla energii: teoria i praktyka*. Monograph, *Uniwersytet Opolski*, Opole, Poland, pp. 163—179.

22. Kulyk, M. Galytska, M. Samoylik, M. and Zhornyk, I. (2019), "Phytoremediation aspects of energy crops use in Ukraine", *Agrology*, vol. 2 (1), pp. 65—73. <https://doi.org/10.32819/2617-6106.2018.14020>.

23. Kulyk, M. Kalynychenko, V. Pryshliak, N. and Pryshliak, V. (2020), "Efficiency of Using Biomass from Energy Crops for Sustainable Bioenergy Development", *Journal of Environmental Management and Tourism*, Vol. XI, no. 5(45), pp.: 1040—1053. DOI:10.14505/jemt.v11.5(45).02

24. Kulyk, M. Rakhmetov, D. Rozhko, I. and Siplyva, N. (2019), "Source material of millet of *Panicum virgatum* L. on a complex of economically valuable features in the conditions of the central forest-steppe of Ukraine", *Sorting and Protection of Plant Variety Rights*, vol. 15, no. 4, pp. 354—364.

25. Zulauf, C. Prutska, O. Kirieieva, E. and Pryshliak, N. (2018), "Assessment of the potential for a biofuels industry in Ukraine", *Problems and Perspectives in Management*, vol. 16 (4), pp. 83—90. DOI: [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16\(4\)-2018.08](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.16(4)-2018.08).

Стаття надійшла до редакції 31.12.2020 р.