

УДК 633.9:631.54

## Визначення меж агрономічної ефективності вирощування біоенергетичних культур в умовах Лісостепу України

О. І. Присяжнюк\* , Н. О. Кононюк , О. А. Маляренко , М. О. Черняк ,  
О. Ю. Половинчук , О. М. Гончарук , В. В. Мусіч , О. П. Шевченко 

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03110, Україна

\*Автор для листування: Олег Присяжнюк, [ollpris@gmail.com](mailto:ollpris@gmail.com)

**Цитування:** Присяжнюк О. І., Кононюк Н. О., Маляренко О. А., Черняк М. О., Половинчук О. Ю., Гончарук О. М., Мусіч В. В., Шевченко О. П. Визначення меж агрономічної ефективності вирощування біоенергетичних культур в умовах Лісостепу України. *Біоенергетика*. 2025. № 2. С. 57–66. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp57-66>

**Мета.** Установити межі агрономічної ефективності вирощування біоенергетичних культур (міскантусу гігантського та верби енергетичної) в умовах Лісостепу України з урахуванням ґрунтово-кліматичної диференціації, особливостей наявного землекористування та потенціалу маргінальних земель. **Методи.** Польові дослідження у Правобережному Лісостепу (дослідне поле ІБКіЦБ НААН, с. Ксаверівка Друга, 2020–2024 рр.); узагальнення підтверджених площ наявних плантацій у дев'яти областях Лісостепу; агрокліматичне зонування (Західний, Центральний та Східний Лісостеп); інвентаризація земель, що потребують консервації, і малопродуктивних ґрунтів; модель придатності (коефіцієнти залучення 10–20% для міскантусу та 5–15% для верби на відповідних категоріях земель); оцінювання виходу твердого біопалива та частки заміщення викопного палива до 2035 р. **Результати.** Підтверджено наявність 807 га плантацій у Лісостепу ( $\approx 38,4\%$  від 2,1 тис. га по Україні). За біологічними вимогами й структурою земель прогнозні площі становлять: для міскантусу – 190–367 тис. га (у середньому 278,5 тис. га), для верби – 101–248 тис. га (у середньому 174,5 тис. га), разом 291–615 тис. га ( $\approx 2,6$ – $5,5\%$  орних земель; у середньому 4,0%). З цих площ очікуваний сумарний вихід твердого біопалива становить 6,89–14,18 млн т/рік, що еквівалентно 27,7–57,0% потреб заміни викопного палива у 2035 році. **Висновки.** Найпридатнішими для вирощування міскантусу є добре дреновані суглинки Центрального й Західного Лісостепу; для верби – заплавні та зволожені землі Київщини, Сумщини, Черкащини, Хмельниччини, Тернопільщини, Харківщини. Оптимальне залучення лише невеликої частки орних земель ( $\approx 4\%$ ) дає змогу замінити приблизно до половини потреб у твердому біопаливі у 2035 році без загрози продовольчій безпеки регіону.

**Ключові слова:** біоенергетичні культури; міскантус гігантський; верба енергетична; маргінальні землі; тверде біопаливо; агрокліматичне зонування.

### Вступ

Сільськогосподарська біомаса відіграє провідну роль у забезпеченні харчових потреб, виробництві кормів, а також є цінною сировиною для низки продуктів глибокого перероблення [1]. Протягом останніх років набуло поширення переконання щодо доцільності вирощування біомаси для енергетичних цілей на маргінальних землях. Такий підхід розглядають як компромісне рішення, що дає змогу зберегти традиційне виробництво продуктів харчування на родючих сільськогосподарських угіддях і водночас сприяє переходу до сталого, низь-

Одержано 18.09.2025 • Погоджено 09.10.2025 • Опубліковано онлайн 29.12.2025

© Автор(и), 2025. Видавець Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України. Це стаття відкритого доступу, що розповсюджується на умовах ліцензії CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>), яка дозволяє використання, розповсюдження та відтворення на будь-яких носіях за умови належного цитування оригінальної роботи.



ковуглецевого розвитку суспільства [2–9]. У цьому контексті реалізуються програми, спрямовані на сприяння й адаптацію спеціалізованих біоенергетичних культур через підвищення їхньої врожайності, якості та здатності пристосуватися до умов маргінальних земель [10–13].

Тим не менш, є значне занепокоєння щодо балансу між продовольчою безпекою, енергетикою та станом довкілля [14]. Перехід до виробництва біоенергії після відмови від викопного палива спричиняє глибокі зміни на глобальному рівні, зумовлені зростанням попиту та конкуренцією за земельні ресурси [15]. Крім того, вирощування біоенергетичних культур супроводжується низкою екологічних викликів, пов'язаних із прямими та непрямыми змінами у землекористуванні, впливом на водні ресурси, біорізноманіття та збереження природних середовищ існування [16–18].

Отже, відкритим залишається питання щодо оптимального розподілу біоенергетичних культур у межах традиційних сільськогосподарських систем. Це потребує ухвалення рішень на рівні окремих полів, з урахуванням можливих сценаріїв землекористування [19], водночас забезпечуючи збереження та поліпшення екосистемних послуг у межах нових природоорієнтованих рішень [20]. Такий підхід має на меті перетворити екологічні, соціальні та економічні виклики на інноваційні можливості розвитку. Хоча ця проблема обговорюється на глобальному рівні, потреба у практичних і розумних рішеннях є особливо актуальною для фермерів, адже очікувані наслідки зміни клімату до 2050 року можуть спричинити істотне зниження чистих доходів сільськогосподарських виробників [6, 21].

Наразі більшість досліджень зосереджено переважно на економічному аналізі вирощування біоенергетичних культур і оцінюванні потенційного виробництва біомаси в умовах помірного клімату [5, 22–24]. Такі дослідження спрямовані на забезпечення зацікавлених сторін аналітичними інструментами, необхідними для ухвалення політичних рішень, розроблення стратегій управління та здійснення порівняльного аналізу альтернативних ланцюгів створення вартості. Найвідомішими орієнтирами в цій сфері є показники, запропоновані Глобальним партнерством з біоенергетики (GBEP) [2], Круглим столом зі сталого біоматеріалів [25], Радою зі сталого виробництва біомаси [26], Критеріями сталого розвитку для біоенергетики Міжнародної організації зі стандартизації [27] та Міжнародною сертифікацією сталого розвитку та вуглецю [28].

Проте зростаюча потреба в ефективному землекористуванні потребує визначення оптимального балансу між вирощуванням біоенергетичних культур на малопродуктивних землях, збереженням екосистемних послуг і мінімізацією впливу на довкілля [5, 17, 29]. Результати наявних досліджень переважно свідчать про позитивний ефект такого землекористування, однак у низці робіт відзначаються розбіжності або нейтральний вплив вирощування біоенергетичних культур на екологічні показники [30–33].

В умовах України та сусідніх європейських країн сформувалися традиційні системи землеробства, що переважно ґрунтуються на зернових сівозмінах [34]. Водночас численні наукові дослідження свідчать, що системи виробництва сировини другого покоління є найбільш перспективними для вирощування на менш сприятливих сільськогосподарських угіддях [35–37].

Отже, важливо оцінити фактичний стан поширення біоенергетичних культур у зоні Лісостепу України, а також визначити потенціал для подальшого розширення їхніх плантацій без негативного впливу на традиційну сільськогосподарську практику.

*Мета дослідження* – установити межі агрономічної ефективності вирощування біоенергетичних культур (міскантусу гігантського та верби енергетичної) в умовах Лісостепу України з урахуванням ґрунтово-кліматичної диференціації, особливостей наявного землекористування та потенціалу маргінальних земель.

## Матеріали та методи дослідження

Польові дослідження проводили в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН (с. Ксаверівка Друга, Київська обл.) у 2020–2024 рр.

У роботі також використовували статистичну інформацію щодо площ вирощування біоенергетичних культур в основних регіонах Лісостепу України.

Ґрунт дослідного поля ІБКіЦБ – чорнозем глибокий середньосуглинковий на лесовидному суглинку: вміст гумусу – 2,58% (за Тюрніним), лужногідролізованого азоту – 176 мг/кг (за Корнфільдом), рухомих сполук фосфору та калію – 160 і 95 мг/кг ґрунту (за Чириковим), рН<sub>сольове</sub> – 6,75, сума ввібраних основ – 305 мг-екв/кг, гідролітична кислотність – 9,1 мг-екв/кг ґрунту. Уміст гумусу та лужногідролізованого азоту оцінюється як середній, рухомого фосфору – високий, а калію – підвищений.

Погодні умови протягом років досліджень були різноманітними – від надмірного зволоження до посухи, що дало змогу ефективно оцінити потенціал продуктивності біомаси біоенергетичних культур.

За ґрунтовими умовами регіони дослідження типові для зони Лісостепу: приблизно 60% площ Вінницької та Хмельницької областей займають чорноземи опідзолені; у Київській, Сумській та Чернівецькій областях переважають сірі та темно-сірі лісові ґрунти; у Полтавській області близько 70% площ займають чорноземи типові, тоді як у Харківській та Черкаській областях домінують звичайні та опідзолені ґрунти. У Тернопільській області найпоширенішими є чорноземи опідзолені.

Експериментальні дослідження проводили відповідно до методик польового дослідження та спеціальних методик [38, 39].

## Результати дослідження

Насамперед варто визначити наявні площі біоенергетичних культур у ключових регіонах Лісостепу України (табл. 1).

**Таблиця 1.** Площі насаджень біоенергетичних культур у Лісостепу України станом на кінець 2024 року

Регіон	Міскантус гігантський		Верба енергетична	
	площа, га	користувач	площа, га	користувач
Вінницька	11	Органік-Д	5	ТОВ «Енергетична верба»
Київська	5	ІБКіЦБ НААН	64	ТОВ «УкрАгроЕнерго»
	190	ТОВ «ЕнергоАграр»	6	ІБКіЦБ НААН
			2	Немішаївс. агротехн. коледж
Полтавська			5	ТОВ «Енергетична верба»
	1	Дослідні ділянки	120	ТОВ «Екосолум»
Сумська	100	–	45	ТОВ «Екосолум»
Тернопільська	37	Громади	17	Громади
Харківська	–	–	–	–
Хмельницька	190	ТОВ «ЕнергоАграр»	5	Громади
	3	Громади		
Черкаська	1	Дослідні ділянки	–	–
Чернівецька	–	–	–	–
Разом	538	–	269	–

За підтвердженими даними, у зоні Лісостепу вирощується 807 га біоенергетичних культур, тоді як, за даними Держстату, загальна площа таких культур по Україні на кінець 2024 року становила 2,1 тис. га. Отже, частка Лісостепу становить 38,4%, що підтверджує пропорційність розташування плантацій біоенергетичних культур у країні.

Лісостеп України характеризується помірно континентальним кліматом з достатнім зволоженням на заході та нестійким – на сході. Попри певну строкатість погодних умов між областями, їх можна об'єднати за агрокліматичним районуванням на Західний (табл. 2), Центральний (табл. 3) та Східний Лісостеп (табл. 4).

Отже, Західний Лісостеп є найбільш забезпеченою вологою частиною регіону. Клімат тут м'який і достатньо вологий, зима малосніжна, нестійка та порівняно тепла. Тому в цих умовах доцільно вирощувати біоенергетичні культури, які потребують значної кількості вологи для росту й розвитку.

**Таблиця 2.** Показники елементів погоди Західного Лісостепу України (Тернопільська, Хмельницька області та частково Чернівецька область)

Показник	Значення
Середня річна температура	+7,4...+8,6 °С
Січень (температура)	-1,6...-3,8 °С
Липень (температура)	+18,5...+19,9 °С
Річна кількість опадів	600–694 мм
Вегетаційний період	200–212 діб
Зимовий період	75–100 діб
ГТК	~ 1,0–1,2
Коефіцієнт зволоження	2,0–2,8
Випаровуваність	~ 550 мм

До Центрального Лісостепу належать Вінницька, Київська, Черкаська та Полтавська області, які відрізняються проявом кліматичних умов (табл. 3).

**Таблиця 3.** Показники елементів погоди Центрального Лісостепу України [Вінницька, Київська (південна частина), Черкаська та Полтавська області]

Показник	Значення
Середня річна температура	+7,6...+9,3 °С
Січень (температура)	-4,0...-5,7 °С
Липень (температура)	+18,8...+20,5 °С
Річна кількість опадів	480–615 мм
Вегетаційний період	207–227 діб
Зимовий період	80–105 діб
ГТК	~ 1,0–1,1
Коефіцієнт зволоження	1,2–1,4
Випаровуваність	550–600 мм

Особливістю цього регіону є помірно континентальний клімат із порівняно м'якою, мало-сніжною зимою та теплим, помірно вологим літом.

**Таблиця 4.** Показники елементів погоди Східного Лісостепу України [Харківська, Сумська (південна частина) області]

Показник	Значення
Середня річна температура	+6,4...+8,2 °С
Січень (температура)	-5,0...-8,0 °С
Липень (температура)	+19,4...+21,5 °С
Річна кількість опадів	450–550 мм
Вегетаційний період	175–245 діб
Зимовий період	100–120 діб
ГТК	~ 0,9–1,0
Коефіцієнт зволоження	1,0–1,2
Випаровуваність	650–750 мм

Східний Лісостеп України є найбільш континентальним регіоном серед областей Лісостепу. Клімат тут помірно континентальний із нестійкою, помірно холодною зимою та помірно теплим, відносно вологим літом.

Підсумовуючи зональні кліматичні характеристики Лісостепу, Західна частина характеризується температурним режимом: січень -4...-5 °С, липень +18...+19 °С, тоді як східна частина – січень -7...-8 °С, липень +20...+22 °С. Континентальність клімату зростає із заходу на схід.

Спостерігається також загальна тенденція зменшення кількості опадів із заходу (600–700 мм) на схід (450–500 мм). При цьому 65–75% опадів випадає влітку, що створює сприятливі умови для росту й розвитку всіх культур.

Коефіцієнт зволоження, який визначає співвідношення річної кількості опадів і випаровуваності, для Західного Лісостеп становить 2,0–2,8; для Центрального – 1,2–1,4; для Східного – 1,0–1,2. Фактично південна межа Лісостепу збігається з ізолінією  $K_{зв} = 0,6$ .

За випаровуваністю вологи Західна частина Лісостепу має щорічні втрати на рівні 550 мм, Центральна – 550–600 мм, а Східна – 650–750 мм.

Співвідношення тепла та вологи в лісостеповій зоні є сприятливим для вирощування різноманітних сільськогосподарських культур, як-от озима пшениця, ярі зернові, цукрові буряки, соняшник, кукурудза, соя, а також біоенергетичні рослини. Сума активних температур у Західному Лісостепу становить ~ 2700 °С, у Центральному – 2990–3410 °С, а у Східному – 2775–3300 °С.

У регіоні трапляються несприятливі кліматичні явища, які зазвичай залежать від географічного розташування. Зокрема, посухи особливо часто спостерігаються в південній та східній частинах, тоді як суховії – у південно-східних районах.

Також, для оцінки потенційних можливостей вирощування біоенергетичних культур і визначення, які землі слід відводити для цих цілей у кожному регіоні, проаналізовано можливість земельного банку (табл. 5).

Оскільки в Україні не застосовується концепція визначення біофізичних параметрів ґрунтів відповідно до критеріїв маргінальності згідно з актом Європейського законодавства № 1305/2013, у процесі оцінювання враховували дві категорії земель. Категорія «землі, що потребують консервації» включає деградовані, еродовані, малопродуктивні та непридатні для інтенсивного сільськогосподарського використання ділянки (згідно з методикою Держгеокадастру та екологічних оцінок). Категорія «малопродуктивні / низької якості» здебільшого охоплює ґрунти 7–8 класів бонітету, піщані, змиті, з низьким умістом гумусу.

**Таблиця 5.** Площі малопродуктивних та земель, що потребують консервації, та їхня частка від орних земель

Область	Площа земель, що потребують консервації, тис. га	Частка від орної площі, %	Площа малопродуктивних / низької якості земель, тис. га	Частка від орної площі, %
Вінницька	737,3	41,4	351,2	19,7
Київська	480*	44,0	220*	20,2
Полтавська	550*	33,7	260*	16,0
Сумська	520*	38,0	240*	17,5
Тернопільська	340*	42,0	180*	22,2
Харківська	600*	31,9	300*	16,0
Хмельницька	410*	39,0	190*	18,1
Черкаська	460*	38,3	210*	17,5
Чернівецька	180*	43,9	90*	22,0

\* оцінки наведено орієнтовно на основі регіональних стратегічних екологічних оцінок, кадастрових оглядів та публікацій, оскільки офіційні дані за 2020–2024 рр. для більшості областей не оприлюднені. Для Вінницької області цифри підтверджені офіційними джерелами. Аналогічно, оцінки частки таких земель є орієнтовними і базуються на основі стратегічних екологічних оцінок, кадастрових оглядів та наукових публікаціях, оскільки точні офіційні дані для більшості регіонів після 2019 року відсутні.

Для більшості областей офіційна деталізація доступна лише в екологічних паспортах за 2016–2019 рр. та регіональних стратегіях; актуальні дані за 2020–2024 рр. публікуються нерегулярно.

Частка деградованих / малопродуктивних земель у багатьох регіонах становить 30–45% орних земель, що створює потенціал для їх консервації та екологічного відновлення або альтернативного використання, зокрема під енергетичні культури (міскантус, енергетична верба, тополя).

Вінницька, Тернопільська та Чернівецька області характеризуються найвищою часткою таких земель від загальної орної площі – понад 40 %. Харківська та Полтавська області мають значні абсолютні площі таких земель (понад 500–600 тис. га), проте відносна частка дещо менша через велику загальну площу орних земель.

Міскантус гігантський для ефективного росту й розвитку потребує щорічних опадів  $\geq 500$ –600 мм та тривалий безморозний період. Найсприятливішими для його вирощування є добре дреновані суглинкові ґрунти, тоді як на перезволожених та надто важких чи надто легких ґрунтах урожайність значно знижується.

Енергетична верба оптимально росте на вологих, помірно кислих ґрунтах (рН  $\sim 5$ –7) за умов 550–1100 мм опадів на рік; вона віддає перевагу високому рівню зволоження та близькості до ґрунтових вод. Добре почувається в помірному кліматі України.

Для прогнозування потенційних площ вирощування біоенергетичних культур у регіонах застосовується така методика. Беруться землі, що виводяться з інтенсивного обробітку (дегратовані, малопродуктивні, заплавні, важкі глини тощо), і застосовується коефіцієнт придатності: для міскантусу – лише 10–20% таких земель (через потребу в дренажі та прийнятній механічній структурі), для верби – 5–15% (точкові ділянки з достатньою вологістю, заплави або біля меліоративних систем). Після чого виключаються зони явних ризиків, як-от надмірне підтоплення, ерозія або території з природоохоронними режимами.

Для міскантусу мінімальний водний поріг 500–600 мм і чутливість до перезволоження і складних умов на початковому етапі росту обмежують частку придатних маргінальних площ. Натомість верба потребує значної кількості вологи, тому її потенційні площі вирощування є просторово фрагментованими (наприклад, вологі заплави), що зумовлює застосування нижчого коефіцієнта.

**Таблиця 6.** Прогнозні площі вирощування міскантусу гігантського та верби енергетичної в регіонах Лісостепу України

Область	Міскантус гігантський		Верба енергетична	
	тис. га	розташування	тис. га	розташування
Вінницька	30–60	площі з доброю дренованістю	10–30	заплави Південного Бугу чи приток, меліоративні системи
Київська	20–40	придатні південні й центральні райони	20–50	заплавні чи зволожені землі, торфовища
Полтавська	35–70	–	10–25	локально по долинах і зволожених ґрунтах
Сумська	15–30	оптимально Південний Лісостеп та край Полісся	20–45	північні вологі райони, долини річок
Тернопільська	15–25	добре дреновані суглинки	5–15	заплавні зони Дністра й приток
Харківська	25–50	слід уникати легких пісків	10–20	долини Сіверського Дінця, зволожені пониження
Хмельницька	20–35	–	8–18	річища, перезволожені ділянки
Черкаська	25–45	–	15–35	басейн Дніпра, Тясмину, Вільшанки
Чернівецька	5–12	дреновані ділянки, уникати надмірного зволоження та крутих схилів	3–10	заплави Прута / Сірету, локальні зволожені землі

Загалом, міскантус гігантський доцільно вирощувати в таких областях, як Вінницька, Полтавська, Черкаська, Хмельницька, Тернопільська та південна частина Київської області. Це класичний Лісостеп із достатньою кількістю опадів (зазвичай 550–650 мм), тривалішим вегетаційним періодом та значними площами добре дренованих суглинків.

Верба енергетична ліпше росте в умовах таких областей: Київська (Полісся й долини річок), Сумська (північ, долини), Черкаська (басейн Дніпра), Хмельницька (річища, заплави), Тернопільська (заплавні ділянки), Харківська (долини Сіверського Дінця й приток). Тут переважають вологі та перезволожені місця, трапляються торфово-болотні й заплавні ґрунти, що відповідають біологічним вимогам верби.

Чернівецький регіон придатний для вирощування обох культур «точково»: достатня кількість опадів забезпечує високі врожаї, проте мозаїка рельєфу й земельного фонду обмежує можливості формування великих масивів.

Загальні площі, пропоновані під вирощування біоенергетичних культур в умовах Лісостепу, наведено в таблиці 7.

**Таблиця 7.** Сумарні прогнозні площі вирощування міскантусу гігантського та верби енергетичної в Лісостепу України

Культура	Мінімум, тис. га	Максимум, тис. га	Орієнтовні середні площі, тис. га
Міскантус гігантський	190,0 (1,7%)	367,0 (3,3%)	278,5 (2,5%)
Верба енергетична	101,0 (0,9%)	248,0 (2,2%)	174,5 (1,6%)
Разом (обидві культури)	291,0 (2,6%)	615,0 (5,5%)	453,0 (4,0%)

**Примітка.** У дужках – частка від орних земель.

Сумарні площі в оптимальному варіанті розміщення культур становлять лише 4,0% від загальної площі орних земель.

Також доцільно розрахувати вихід твердого біопалива та відсоток заміщення викопного палива згідно зі стратегією на 2035 рік з урахуванням площ біоенергетичних культур, які можна закласти на малопродуктивних ґрунтах Лісостепу України (табл. 8). Адже пріоритетом є саме ефективне розміщення культур і відсутність конкуренції з продовольчими рослинами.

**Таблиця 8.** Вихід твердого біопалива з площ біоенергетичних культур, наведених у таблиці 7, та частка покриття необхідного палива станом на 2035 рік

Сценарій	Міскантус гігантський, млн т	Верба енергетична, млн т	Разом, млн т
Мінімум	5,23 (21,0%)	1,67 (6,7%)	6,89 (27,7%)
Середній	7,66 (30,8%)	2,88 (11,6%)	10,54 (42,3%)
Максимум	10,09 (40,5%)	4,09 (16,4%)	14,18 (57,0%)

У разі реалізації максимального сценарію формування площ біоенергетичних культур Лісостеп України здатний забезпечити понад 50% потреби у заміщенні викопного палива. При цьому для вирощування використовується лише 5,5% орних земель, що не становить загрози для продовольчої безпеки країни.

## Висновки

У Лісостепу України вже закладено 807 га біоенергетичних культур ( $\approx 38,4\%$  від 2,1 тис. га по країні), що підтверджує концентрацію галузі саме у цій природно-кліматичній зоні.

Агрокліматичні відмінності між Західним, Центральним і Східним Лісостепом (опади, гідротермічний коефіцієнт, випаровуваність, тривалість вегетації) зумовлюють диференційовану спеціалізацію культур: міскантус – на добре дренованих суглинках регіонів із 500–650 мм опадів, верба – на заплавах і зволжених пониженнях із близьким заляганням ґрунтових вод.

Потенційні площі залучення (за консервативною моделлю придатності земель) становлять: міскантус – 190–367 тис. га, верба – 101–248 тис. га; разом 291–615 тис. га, що відповідає 2,6–5,5% орних земель Лісостепу (середній сценарій –  $\approx 4,0\%$ ).

За наведених площ очікуваний річний вихід твердого біопалива становить 6,89–14,18 млн т, що забезпечує 27,7–57,0% від орієнтиру заміщення викопного палива у 2035 році; середній сценарій – приблизно 42,3%.

## Список використаних джерел

1. Espinoza Pérez, A. T., Camargo, M., Narváez Rincón, P. C., & Alfaro Marchant, M. (2017). Key challenges and requirements for sustainable and industrialized biorefinery supply chain design and management: A bibliographic analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 350–359. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.084>
2. The Global Bioenergy Partnership (GBEP). 2018. <http://www.globalbioenergy.org>
3. Lewandowski, I. (2015). Securing a sustainable biomass supply in a growing bioeconomy. *Global Food Security*, 6, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2015.10.001>
4. Dale, V. H., Kline, K. L., Buford, M. A., Volk, T. A., Tattersall Smith, C., & Stupak, I. (2016). Incorporating bioenergy into sustainable landscape designs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 56, 1158–1171. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.038>
5. Blanco-Canqui, H. (2016). Growing Dedicated Energy Crops on Marginal Lands and Ecosystem Services. *Soil Science Society of America Journal*, 80(4), 845–858. <https://doi.org/10.2136/sssaj2016.03.0080>
6. Gelfand, I., Sahajpal, R., Zhang, X., Izaurrealde, R. C., Gross, K. L., & Robertson, G. P. (2013). Sustainable bioenergy production from marginal lands in the US Midwest. *Nature*, 493(7433), 514–517. <https://doi.org/10.1038/nature11811>
7. Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., Zwickel, T., Eickemeier, P., Hansen, G., Schlömer, S., & von Stechow, C. (Eds.). (2011). *IPCC special report on renewable energy sources and climate change mitigation*. Cambridge University Press.
8. European Commission. (2017). *Proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast)* [COM/2016/0767 final/2 – 2016/0382 (COD)].
9. JRC, EEA, CENER, & CIEMAT. (2006, February 9–10). *Sustainable bioenergy cropping systems for the Mediterranean: Proceedings of the Expert Consultation*. Madrid.
10. The White House. (2012). *National bioeconomy blueprint*. Washington, DC.
11. De Schutter, L., & Giljum, S. (2014). *A calculation of the EU bioenergy land footprint: Discussion paper on land use related to EU bioenergy targets for 2020 and an outlook for 2030*. Vienna.
12. Krautgartner, R., Audran, X., Rehder, L. E., Boshnakova, M., Dobrescu, M., & Rossetti, A. (2017). *EU-28 oilseeds market update* (GAIN Report No. AU1706). United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service.
13. Flach, B., Lieberz, S., & Rossetti, A. (2017). *EU-28 biofuels annual report* (GAIN Report No. NL7015). United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service.
14. Tilman, D., Socolow, R., Foley, J. A., Hill, J., Larson, E., Lynd, L., Pacala, S., Reilly, J., Searchinger, T., Somerville, C., & Williams, R. (2009). Beneficial Biofuels – The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science*, 325(5938), 270–271. <https://doi.org/10.1126/science.1177970>
15. Bosch, R., van de Pol, M., & Philp, J. (2015). Policy: Define biomass sustainability. *Nature*, 523(7562), 526–527. <https://doi.org/10.1038/523526a>
16. Pretty, J., Sutherland, W. J., Ashby, J., Auburn, J., Baulcombe, D., Bell, M., Bentley, J., Bickersteth, S., Brown, K., Burke, J., Campbell, H., Chen, K., Crowley, E., Crute, I., Dobbelaere, D., Edwards-Jones, G., Funes-Monzote, F., Godfray, H. C. J., Griffon, M., ... Pilgrim, S. (2010). The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(4), 219–236. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0534>
17. Holland, R. A., Eigenbrod, F., Muggeridge, A., Brown, G., Clarke, D., & Taylor, G. (2015). A synthesis of the ecosystem services impact of second generation bioenergy crop production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.02.003>
18. Milner, S., Holland, R. A., Lovett, A., Sunnenberg, G., Hastings, A., Smith, P., Wang, S., & Taylor, G. (2015). Potential impacts on ecosystem services of land use transitions to second-generation bioenergy crops in GB. *GCB Bioenergy*, 8(2), 317–333. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12263>
19. Anderson-Teixeira, K. J., Duval, B. D., Long, S. P., & DeLucia, E. H. (2012). Biofuels on the landscape: Is “land sharing” preferable to “land sparing”? *Ecological Applications*, 22(8), 2035–2048. <https://doi.org/10.1890/12-0711.1>
20. Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Kylvik, M., Rey, F., van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E., & Wittmer, H. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of The Total Environment*, 579, 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.106>
21. Wolf, J., Kanellopoulos, A., Kros, J., Webber, H., Zhao, G., Britz, W., Reinds, G. J., Ewert, F., & de Vries, W. (2015). Combined analysis of climate, technological and price changes on future arable farming systems in Europe. *Agricultural Systems*, 140, 56–73. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.08.010>

22. Stooft, C. R., Richards, B. K., Woodbury, P. B., Fabio, E. S., Brumbach, A. R., Cherney, J., Das, S., Geohring, L., Hansen, J., Hornesky, J., Mayton, H., Mason, C., Ruestow, G., Smart, L. B., Volk, T. A., & Steenhuis, T. S. (2014). Untapped Potential: Opportunities and Challenges for Sustainable Bioenergy Production from Marginal Lands in the Northeast USA. *BioEnergy Research*, 8(2), 482–501. <https://doi.org/10.1007/s12155-014-9515-8>
23. Emery, I., Mueller, S., Qin, Z., & Dunn, J. B. (2016). Evaluating the Potential of Marginal Land for Cellulosic Feedstock Production and Carbon Sequestration in the United States. *Environmental Science & Technology*, 51(1), 733–741. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04189>
24. Smeets, E. M. W., Lewandowski, I. M., & Faaij, A. P. C. (2009). The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(6–7), 1230–1245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.006>
25. Roundtable on Sustainable Biofuels. (n.d.). <http://rsb.org/>
26. Council on Sustainable Biomass Production. (n.d.). [http://www.merid.org/Content/Projects/Council\\_on\\_Sustainable\\_Biomass\\_Production.aspx](http://www.merid.org/Content/Projects/Council_on_Sustainable_Biomass_Production.aspx)
27. ISO sustainability criteria for bioenergy. (n.d.). <https://www.iso.org/standard/52528.html>
28. International sustainability and carbon certification. (n.d.). <http://www.iscc-system.org/en/>
29. Anuar, M. R., & Abdullah, A. Z. (2016). Challenges in biodiesel industry with regards to feedstock, environmental, social and sustainability issues: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 208–223. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.296>
30. Immerzeel, D. J., Verweij, P. A., van der Hilst, F., & Faaij, A. P. C. (2013). Biodiversity impacts of bioenergy crop production: a state-of-the-art review. *GCB Bioenergy*, 6(3), 183–209. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12067>
31. Pedrolí, B., Elbersen, B., Frederiksen, P., Grandin, U., Heikkilä, R., Krogh, P. H., Izakovičová, Z., Johansen, A., Meiresonne, L., & Spijker, J. (2013). Is energy cropping in Europe compatible with biodiversity? – Opportunities and threats to biodiversity from land-based production of biomass for bioenergy purposes. *Biomass and Bioenergy*, 55, 73–86. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.09.054>
32. Gasparatos, A., Doll, C. N. H., Esteban, M., Ahmed, A., & Olang, T. A. (2017). Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 161–184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.030>
33. Werling, B. P., Dickson, T. L., Isaacs, R., Gaines, H., Gratton, C., Gross, K. L., Liere, H., Malmstrom, C. M., Meehan, T. D., Ruan, L., Robertson, B. A., Robertson, G. P., Schmidt, T. M., Schrottenboer, A. C., Teal, T. K., Wilson, J. K., & Landis, D. A. (2014). Perennial grasslands enhance biodiversity and multiple ecosystem services in bioenergy landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(4), 1652–1657. <https://doi.org/10.1073/pnas.1309492111>
34. Solinas, S., Fazio, S., Seddaiu, G., Roggero, P. P., Deligios, P. A., Doro, L., & Ledda, L. (2015). Environmental consequences of the conversion from traditional to energy cropping systems in a Mediterranean area. *European Journal of Agronomy*, 70, 124–135. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.07.008>
35. Cosentino, S. L., Scordia, D., Sanzone, E., Testa, G., & Copani, V. (2014). Response of giant reed (*Arundo donax* L.) to nitrogen fertilization and soil water availability in semi-arid Mediterranean environment. *European Journal of Agronomy*, 60, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.07.003>
36. Fernando, A. L., Costa, J., Barbosa, B., Monti, A., & Rettenmaier, N. (2018). Environmental impact assessment of perennial crops cultivation on marginal soils in the Mediterranean Region. *Biomass and Bioenergy*, 111, 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.04.005>
37. Pulighe, G., Bonati, G., Fabiani, S., Barsali, T., Lupia, F., Vanino, S., Nino, P., Arca, P., & Roggero, P. (2016). Assessment of the Agronomic Feasibility of Bioenergy Crop Cultivation on Marginal and Polluted Land: A GIS-Based Suitability Study from the Sulcis Area, Italy. *Energies*, 9(11), Article 895. <https://doi.org/10.3390/en9110895>
38. Ermantraut, E. R., Prysiazhniuk, O. I., & Shevchenko, I. L. (2007). *Statistical analysis of agronomic experimental data using Statistica 6.0*. PolihrafKonsal'tynh. [In Ukrainian]
39. Prysiazhniuk, O. I., Klymovych, N. M., Polunina, O. V., Yevchuk, Y. V., Tretyakova, S. O., Kononenko, L. M., Voitovska, V. I., & Mykhailovyn, Y. M. (2021). *Methodology and organization of scientific research in agriculture and food technologies*. Nilan-LTD. <https://doi.org/10.47414/978-966-924-927-2> [In Ukrainian]

## Determination of the limits of agronomic efficiency of the bioenergy crops cultivation in the Forest-Steppe of Ukraine

O. I. Prysiazhniuk\*, N. O. Kononiuk, O. A. Maliarenko, M. O. Cherniak, O. Yu. Polovynchuk, O. M. Honcharuk, V. V. Musich, O. P. Shevchenko

Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, NAAS of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

\*Corresponding author: Oleh Prysiazhniuk, ollpris@gmail.com

**Citation:** Prysiazhniuk, O. I., Kononiuk, N. O., Maliarenko, O. A., Cherniak, M. O., Polovynchuk, O. Yu., Honcharuk, O. M., Musich, V. V., & Shevchenko, O. P. (2025). Determination of the limits of agronomic efficiency of the bioenergy crops cultivation in the Forest-Steppe of Ukraine. *Bioenergy*, 2, 57–66. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No2.pp57-66>

**Aim.** To determine the boundaries of agronomic efficiency for cultivating bioenergy crops (*Miscanthus giganteus* and energy willow) in the Forest Steppe zone of Ukraine, taking into account soil-climatic differentiation, existing land use, and the potential of marginal lands. **Methods.** Field trials were conducted in the Right-Bank Forest Steppe in the experimental field of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet NAAS (Ksaverivka Druha) in 2020–2024. The methods included generalisation of confirmed plantation areas across nine Forest Steppe regions, agro-climatic zoning (Western, Central, and Eastern Forest Steppe), inventory of lands requiring conservation and low-productivity soils, suitability modelling (engagement coefficients of 10–20% for miscanthus and 5–15% for willow across respective land categories); estimation of solid biofuel yield and fossil fuel substitution potential by 2035. **Results.** A total of 807 hectares of plantations were confirmed within the Forest Steppe zone ( $\approx 38.4\%$  of 2,100 ha nationwide). Based on biological requirements and land structure, the area suitable for cultivation of miscanthus ranges between 190 and 367 thousand hectares and suitable for cultivation of willow between 101 and 248 thousand hectares. The area of combined cultivation of these crops ranges from 291 to 615 thousand hectares of arable land (4.0%). These areas are expected to yield 6.89–14.18 million tonnes of solid biofuel annually, which is equivalent to 27.7–57.0% of the fossil fuel substitution target for 2035. **Conclusions.** The most suitable soils for miscanthus cultivation are well-drained loamy soils in the Central and Western Forest Steppe, while and for willow cultivation the most suitable are floodplain and moist soils in Kyiv, Sumy, Cherkasy, Khmelnytskyi, Ternopil, and Kharkiv regions. Optimal engagement of only a small portion of arable land ( $\approx 4\%$ ) could enable substitution of up to half the region's solid biofuel demand by 2035 without compromising food security.

**Keywords:** energy crops; *Miscanthus giganteus*; energy willow; marginal lands; solid biofuel; agro-climatic zoning.

### ORCID

Олег Присяжнюк / Oleh Prysiazhniuk

Надія Кононюк / Nadiia Kononiuk

Оксана Малярєнко / Oksana Maliarenko

Микола Черняк / Mykola Cherniak

Олександр Половинчук / Oleksandr Polovynchuk

Олександр Гончарук / Oleksandr Honcharuk

Володимир Мусіч / Volodymyr Musich

Олена Шевченко / Olena Shevchenko

<https://orcid.org/0000-0002-4639-424X>

<https://orcid.org/0000-0002-5313-4999>

<https://orcid.org/0000-0002-9309-4020>

<https://orcid.org/0009-0004-4718-5978>

<https://orcid.org/0000-0002-7830-7534>

<https://orcid.org/0000-0002-7740-1334>

<https://orcid.org/0000-0001-5362-6750>

<https://orcid.org/0000-0001-5980-7536>