

Рудько Г., доктор геолого-мінералогічних наук, доктор географічних наук, доктор технічних наук, професор, голова ДКЗ, м. Київ,  
 Зінченко О., аспірант (Житомирський національний агроекологічний університет),  
 Зінченко В. (ПВНЗ «Інститут Тутковського», м. Київ)

## АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСА В ЯКОСТІ БІОПАЛИВА

### АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ МИСКАНТУСА НА БИОТОПЛИВО

У человечества нет других путей спасения от энергетического голода и экологической катастрофы (вследствие глобального потепления), кроме масштабного внедрения быстрорастущих «энергетических» растений на всех земельных площадях, где это только возможно, в том числе на деградировавших землях, но без потери площадей, предназначенных для сельскохозяйственной деятельности. Среди растений, пригодных для этой цели, наиболее эффективным является мискантус гигантеус (слоновая трава). На большинстве земельных площадей Украины это растение может дать значительный эффект не только по количеству биомассы, но и по наименьшим затратам на выращивание, а также способствуя восстановлению деградировавших земель.

### ALTERNATIVE ENERGY. ENVIRONMENTAL ISSUES WHEN CULTIVATED MISCANTHUS FOR BIOFUELS

It has been proved that mankind has no other alternative for saving from the energy catastrophe (as a result of global warming) than a wide introduction of fast-growing energy plants on all land areas where possible, especially for the degraded soil rehabilitation though without losses in land for obtaining the sufficient quantity of food products. *Miscanthus giganteus* (or napier grass) proves most effective among plant biofuels. This plant on the majority of Ukraine's lands can yield considerably not only because of biomass quantities, but due to the lowest expenditures on its growing. *Miscanthus giganteus* also contributes to the degraded soil rehabilitations.

**Ключові слова:** екологічна безпека, альтернативні джерела енергії, біопаливо, мискантус гігантеус.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, альтернативные источники энергии, биотопливо, мискантус гигантеус.

**Keywords:** environmental security, alternative energy, biofuels, *Miscanthus giganteus*.

#### Постановка проблеми

Викопне паливо сприяло просуванню людства вперед по шляху прогресу, найбільш інтенсивно починаючи з XIX століття. Але, попри постійну зміну «короля гори» (у різний час – вугілля, нафта, газ, уран), постійно з'являлися нові види палива, які дозволяли знову і знову нарощувати обсяги споживання енергії. Ситуація різко змінилася за останнє десятиліття. Традиційні нафта і газ вже пройшли в 2008–2009 роках пік розвіданих запасів, і найближчим часом ми цілком зможемо спостерігати пік їхнього видобутку [5].

Для України важливим є створення рослинних джерел біопалива, які б мали багатоцільове промислове застосування за рахунок використання деградованих земель. Однією з таких культур є мискантус. Передбачається його використання для виробництва твердого палива у вигляді брикетів та гранул, силосного газу, а також рідкого біопалива у вигляді етанолу та бутанолу.

#### Аналіз результатів останніх досліджень

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про те, що більшість прогнозів віддають перевагу

рослинному відновлювальному біопаливу. Постійно зростаюча рентабельність вирощування рослин для енергетичних цілей привертає увагу все більшої кількості сільгоспвиробників. Але у медалі є й інша сторона. Візьмемо, наприклад, ріпак. Сьогодні це одна з основних культур для виробництва біодизеля. З кожним роком сільськогосподарські площі, що відводяться під вирощування ріпаку, ростуть. За даними продовольчої та сільськогосподарської організації ООН, у сезоні 2003–2004 років було зібрано 36 млн тонн насіння ріпаку, в 2004–2005 роках – 46 млн тонн, а в 2008–2009 сільськогосподарському році – вже 58 млн тонн. У 2005 році під ріпак було відведено 2640 тис. га, що становить близько 2% світової площі ріллі. Але ріпак, з одного боку, дуже вимогливий до родючості ґрунту, а з іншого – після кількох років вирощування на одному місці сильно виснажує землю, яка після цього стає непридатною для вирощування продовольчих культур [3].

Таким чином, збільшення площі сільськогосподарських земель під вирощування деяких енергетичних культур може привести як до зменшення площі під продовольчими культурами, так і до скорочення

площі власне земель сільськогосподарського призначення, придатних для вирощування продовольчих культур. Звідси – зростання цін на продукти харчування. Для недопущення росту цін добре було б сіяти енергетичні культури на землях, виведених із сільськогосподарського використання, яких на Житомирщині значна кількість (площі, забруднені радіоактивними речовинами після Чорнобильської аварії).

### **Мета і завдання досліджень**

Метою роботи є дослідження технологічних процесів вирощування міскантуса гігантеуса, одержання з його стебел паливних пелет. Для досягнення вказаної мети були поставлені наступні задачі: дослідити вплив обробки посадкового матеріалу азотобактерином і регуляторами росту рослин на морфологічні показники та врожайність міскантуса гігантеуса; вивчити особливості нагромадження цезію рослинами; визначити характеристики паливних пелет із стебел міскантуса.

### **Об'єкти і методика проведення досліджень**

Наукові дослідження проводилися в агроекологічних умовах с. Бежи Коростенського району Житомирської області та ботанічного саду ЖНАЕУ. Кореневища рослин замочували на 18–20 годин у 0,02% водних розчинах регуляторів росту. Норма препаратів визначалася з розрахунку 2 мл на 10 л води. Під час вегетації проводився облік кількості стебел, вимірювалася їхня висота, визначалася питома активність Cs-137 у стеблах і листі та суха маса рослини на кінець вегетації. У лабораторних умовах повітряно-сухі стебла подрібнювали до  $20 \pm 5$  мм. Січку рослин зберігали в ексікаторі для підтримання постійної вологості і хімічного складу. Хімічний аналіз стебел міскантуса гігантеуса виконано згідно зі стандартними методиками [4].

Рослини висаджувались зі щільністю 1 рослина на  $1 \text{ м}^2$  на глибину 10 см.

### **Результати досліджень**

Під час проведення досліджень в умовах радіоактивного забруднення ґрунту виникла необхідність визначення питомої активності рослин міскантуса та коефіцієнтів переходу цезію-137 із ґрунту, для того щоб оцінити вплив регуляторів росту рослин на забруднення цим радіонуклідом вегетативної маси міскантуса.

Встановлено, що в контрольних екземплярах питома активність Cs-137 у листі становила 40,8 Бк/кг, а в стеблах – 18,1 Бк/кг. Використання регуляторів росту рослин призвело до зміни цього показника. Так, у варіанті з емістимом питома активність Cs-137 у листі зменшилась на 82,8%, у варіантах з біоагрозимом та агроемістимом зменшення становило 63,2% та 41,7% відповідно. У стеблах цей показник зменшився не так радикально.

Розрахунки коефіцієнтів переходу цезію-137 з ґрунту в рослини міскантуса показали, що його значення знаходилось у межах 0,22–0,10 (Бк/кг)/(кБк/м<sup>2</sup>), що

близько до значень коефіцієнтів переходу цезію-137 у зернові культури (озима пшениця, жито, ячмінь).

Необхідно зазначити, що в умовах третього року вегетації, коли основна маса коріння міскантуса вийшла за межі вертикальної міграції цезію-137 по ґрунтовому профілю (48–52 см), а урожай сухої маси досяг 25 т/га, активність стебел міскантуса, які використовуються для отримання пелет, або брикетів, не перевищувала 8–9 Бк/кг, тобто повністю відповідала діючим на сьогоднішній день допустимим рівням.

Отже, обробка кореневищ міскантуса гігантеуса препаратами дозволяє інтенсифікувати вегетативний розвиток рослин і їхню приживлюваність. Результати досліджень показали, що максимальна приживлюваність рослин міскантуса гігантеуса спостерігалася при обприскуванні кореневищ агрозимом.

Застосування регуляторів росту рослин шляхом замочування кореневищ міскантуса дозволяє активувати протікання фотосинтезу, збільшити площу листової поверхні та прискорити наростання надземної маси культури. Найбільш перспективним бачиться застосування агрозимуліну і бакової суміші агрозимуліну і азотобактерину для обприскування кореневищ перед посадкою. Замочування вищевказаним препаратом давало менший ефект. Нами також вивчався вплив агрозимуліну та азотобактерину на чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп ризосфери міскантуса. Практично по усіх варіантах дослідження зазначено збільшення кількості азотфіксуючих, фосфатмінералізуючих мікроорганізмів, а також педотрофів. За результатами досліджень встановлено, що міскантус гігантеус за хімічним складом близький до соломи інших злакових культур, зокрема пшениці, а якщо порівнювати з листовою деревиною (березою), то він містить більше полісахаридів (целюлози і пентозанів), що свідчить про можливість виготовляти з цієї рослини волокнисті напівфабрикати (ВНФ) для виробництва паперу і картону.

Експериментально підтверджено практичну придатність одержаних ВНФ для виробництва картону гарного марки КТ-50 і писального паперу № 1 марки А [1].

В експериментальних умовах методом шнекового пресування подрібнених частинок стебел міскантуса в прес-грануляторі одержано паливні пелети, основні характеристики яких наведено в табл. 2. Роль сполучного компонента в пелетах виконують складові рослини сировини, зокрема лігнін, який під дією тиску і температури розм'якшує структуру частинок міскантуса і сприяє з'єднанню та зміцненню частинок рослинної сировини в кінцевому продукті – пелеті. З наведених у табл. 2 даних видно, що одержані лабораторні зразки паливних пелет задовольняють вимогам стандартів, але мають дещо вищу зольність. Підвищена зольність паливних пелет із міскантуса пояснюється значно більшим, ніж у деревині, вмістом мінеральних речовин, що характерно для не деревної рослинної сировини.

При цьому зольність паливних пелет із міскантуса нижча, ніж у екологічно небезпечного шлаку з кам'яного вугілля (зольність до 20%) або бурого вугілля (зольність до 40%). До того ж зола зі стебел міскантуса є також калій-

**Таблиця 1. Хімічний склад рослинної сировини**

Сировина	Розчинність		Лігнін	Пентозани	Целюлоза	Холоцелюлоза	Зольність
	у воді	у NaOH					
Міскантус гігантеус	6,2	24,4	24,4	23,4	42,9	62,6	2,7
Солома пшениці	10,1	38,4	18,6	26,4	46,2	67,7	4,2
Береза	2,2	11,2	21,0	10,7	41,0	64,7	0,5

**Таблиця 2. Характеристика паливних пелет**

Характеристика	Показники лабораторних зразків з міскантуса гігантеуса	Вимоги європейських стандартів [5] до деревних	
		паливних пелет	паливних брикетів
Вологість, %	10	не більше 10,0	не більше 12,0
Зольність, % від а.с.с.	4,88	не більше 3,0	не більше 1,5
Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	1,26	1,0–1,4	1,3–1,8
Теплота згорання, МДж/кг	16,4	не менше 16,0	не менше 18,6

ним добривом. Важливими характеристиками паливних пелет вважаються також екологічна чистота, енергобезпечність, а також пожегобезпечність при зберіганні, мінімальна кількість викидів окису вуглецю в атмосферу при спалюванні та відсутність неприємного запаху. На відміну від дров або вугілля вони не виділяють при згорянні диму, кіптяви, чадного газу та інших шкідливих речовин. Тому можна стверджувати, що паливні пелети із міскантуса можна розглядати як альтернативу традиційним видам палива для обігріву приватних будинків, залізничних вагонів, теплиць, котлів усіх типів з можливістю автоматизації процесів їх доставки і подачі в топку.

Щоб оцінити обсяг біопалива, який можна отримати з 300 000 га, використовуємо таку залежність:

$$M_{\text{біопал}} = S \cdot C \cdot K \cdot m, \quad (1)$$

де  $M_{\text{біопал}}$  – маса біопалива, яку можна отримати з енергетичних плантацій міскантуса гігантеуса;  
 $S$  – площа вирощування міскантуса (300 000 га);  
 $C$  – врожайність міскантуса (25 т/га);  
 $K$  – коефіцієнт, що враховує втрати біомаси (наприклад, під час збирання чи транспортування) (0,97);  
 $m$  (0,95) – вихід твердого біопалива з одиниці біосировини, узятий за 950 кг/т.

Підставивши в залежність (1) числові значення величин, отримуємо:

$$M_{\text{біопал}} = S \cdot C \cdot K \cdot m = 300\,000 \text{ га} \cdot 25 \text{ т/га} \cdot 0,97 \cdot 0,95 = 6\,911\,250 \text{ т/рік}$$

Таким чином, на підставі виконаних вище розрахунків можна стверджувати, що на землях, виведених

з сільськогосподарського використання (300 000 га), в умовах Житомирської області існує можливість за рахунок власної сировини реалізувати проект будівництва та експлуатації підприємств з виробництва твердого біопалива (пелет) продуктивністю 6 911 250 т/рік.

Розрахована очікувана економія традиційного викопного палива (кам'яного вугілля), за умови заміни його обчисленою кількістю твердого біопалива. При цьому використано таку формулу:

$$M_{\text{вик.пал.}} = \frac{y}{y_1} \cdot M_{\text{біопалива}} \quad (2)$$

де  $M_{\text{вик.пал.}}$  – маса викопного палива (кам'яного вугілля), яке можна зекономити, замінивши його біопаливом;  
 $y$  – теплота згорання пелет міскантуса гігантеуса (16,4 МДж/кг),  
 $y_1$  – теплота згорання традиційного викопного палива (кам'яного вугілля) – 29,3 МДж/кг.

Підставляючи у формулу (2) числові значення величин, отримуємо:

$$M_{\text{вик.пал.}} = \frac{16,4 \text{ МДж/кг}}{29,3 \text{ МДж/кг}} \cdot \frac{6\,911\,250 \text{ т}}{\text{рік}} = 3\,868\,412 \text{ т/рік} \quad (3)$$

Тобто, якщо в умовах Житомирської області на 300 000 га вирощувати міскантус гігантеус з врожайністю 25 т/га, то за рік ми можемо зекономити 3 868 412 т кам'яного вугілля.

Використання біопалива дасть змогу зменшити викиди в навколишнє середовище вуглекислого газу

та інших забруднюючих речовин. Діоксид вуглецю (вуглекислий газ  $\text{CO}_2$ ) відноситься до парникових газів і є основним газоподібним продуктом окислення вуглецю органічного палива. Обсяг викиду  $\text{CO}_2$  безпосередньо пов'язаний із вмістом вуглецю в паливі та ступенем його окислення в енергетичній установці.

Для приблизної оцінки скорочення викидів вуглекислого газу за рахунок використання в якості біопалива міскантуса гігантеуса, виконано наступні розрахунки. Згідно з існуючою методикою [2], приблизні обсяги вуглекислого газу, який утворюється при спалюванні викопного палива (кам'яного вугілля) розраховуються за формулою:

$$M_{\text{CO}_2} = 3.67 \cdot n \cdot M_{\text{вик.пал.}} \quad (4)$$

де  $M_{\text{CO}_2}$  – маса вуглекислого газу, яка утворюється при спалюванні традиційного викопного палива (кам'яного вугілля);

3,67 – показник емісії діоксиду вуглецю  $k_{\text{CO}_2}$ , г/ГДж, під час спалювання органічного палива визначається за формулою

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_c = 3,67 k_c \varepsilon_c, \quad (5)$$

де  $C^r$  – масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %;

$Q_i^r$  – нижча робоча теплота згоряння палива, МДж/кг;

$\varepsilon_c$  – ступінь окиснення вуглецю палива;

$k_c$  – показник емісії вуглецю палива, г/ГДж.

Масовий вміст вуглецю в паливі визначається на основі елементного аналізу палива, що згоряє.

$n$  – умовна кількість вуглецю в робочій масі кам'яного вугілля (80%)

$M_{\text{вик.пал.}}$  – маса традиційного викопного палива (кам'яного вугілля), що заміщується біопаливом (міскантусом гігантеусом) – 3 868 412 т.

$M_{\text{CO}_2} = 3.67 \cdot n \cdot M_{\text{вик.пал.}} = 3,67 \cdot 0,8 \cdot 3\,868\,412 \text{ т} = 11\,357\,657 \text{ т/рік}$  (4)

## Висновки

1. Рослини міскантуса гігантеуса доцільно вирощувати в умовах радіаційного забруднення з подальшим використанням біомаси на енергетичні потреби.

2. Встановлено, що паливні пелети зі стебел міскантуса гігантеуса за екологічними і фізико-хімічними показниками відповідають світовому рівню. При посадці міскантуса гігантеуса на землях, виведених з сільськогосподарського використання, яких на Житомирщині близько 300 тис. гектарів, можна зекономити 3 868 412 т/рік традиційного викопного палива (кам'яного вугілля).

3. За рахунок залучення біомаси міскантуса гігантеуса до паливно-енергетичного балансу Житомирської області можливо зменшити викиди в навколишнє середовище вуглекислого газу в кількості 11 357 657 т/рік.

1. ГКД 34.02.305–2002. Викиди у атмосферу забруднювальних речовин від енергетичних установок. Методика. Визначення. – К., 2002. – 44 с.

2. Барбаш В. А. Ресурсозберігаючі технології перероблення стебел міскантуса // Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2012. – № 5. – С. 118–124.

3. ГКД 34.02.305–2002. Викиди у атмосферу забруднювальних речовин від енергетичних установок. Методика. Визначення. – К., 2002. – 44 с.

4. Зинченко В. А. Энергия мискантуса // Житомирлеспромформ. – 2011. – № 6 – С. 134–140.

5. Лабораторный практикум по целлюлозно-бумажному производству: Учебное пособие для вузов / С. Ф. Примаков, В. П. Миловзоров, М. С. Кухникова, И. М. Царенко. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 168 с.

6. Лось Л.В., Зінченко В. О., Жайвороновський В.Р. Вирощування і газифікація біопалив – ефективний шлях вирішення «енергетичних» і екологічних проблем на прикладі міскантуса гігантеуса // Вісник ЖНАЕУ. – 2011. – №2 – С. 46–58.

7. Стандарты качества на топливные брикеты в странах Европы. [Электронный ресурс] – Режим доступа. URL: <http://brikk.info/about/86-spr>