

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЖИТОМИРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

МОЖАРІВСЬКА ІННА АНАТОЛІЇВНА



УДК 633:504.054(477.42)

**АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ  
КУЛЬТУР В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ  
ПОЛІССЯ УКРАЇНИ**

03.00.16 – екологія

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата сільськогосподарських наук

Житомир – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Житомирському національному агроекологічному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Романчук Людмила Донатівна,**  
Житомирський національний  
агроекологічний університет,  
проректор з наукової роботи  
та інноваційного розвитку

**Офіційні опоненти:** доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Рахметов Джамал Бахлулович,**  
Національний ботанічний сад  
імені М. М. Гришка НАН України,  
заступник директора з наукової роботи  
(інноваційний розвиток)

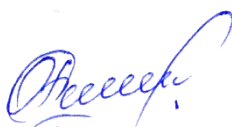
доктор сільськогосподарських наук, професор  
**Слюсар Іван Тимофійович,**  
ННЦ «Інститут землеробства НААН України»,  
головний науковий співробітник відділу  
сівозмін і землеробства на меліорованих землях

Захист відбудеться 17 вересня 2020 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 14.083.01 у Житомирському національному агроекологічному університеті Міністерства освіти і науки України, за адресою: 10008, м. Житомир, бульвар Старий, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Житомирського національного агроекологічного університету Міністерства освіти і науки України, за адресою: 10008, м. Житомир, бульвар Старий, 7.

Автореферат розісланий 14 серпня 2020 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О. Б. Овезмирадова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС радіоактивному забрудненню були піддані значні території Українського Полісся. На цій території мешкає і зайнята в агропромисловому виробництві значна частина населення. Тому глобальною проблемою в агропромисловому виробництві є реабілітація радіоактивно забруднених земель та збереження і відтворення дерново-підзолистих ґрунтів.

Одним із перспективних шляхів вирішення даного питання є вирощування енергетичних культур для реабілітації ґрунтів та отримання джерел енергії.

Забезпечення енергоресурсами є стратегічним завданням ефективного розвитку нашої держави. Нестача енергетичних ресурсів змушує вчених і виробників всього світу шукати відновлювальні енергетичні джерела. Ефективність виробництва альтернативних видів біопалива визначається раціональним підбором видів та інтенсивністю формування рослинами біомаси відповідного хімічного складу (Рахметов Д. Б., 2007; Гелетуха Г. Г., 2010; Шпаар Д., 2012; Слюсар І. Т., 2017).

Вивченню енергетичних культур з метою виготовлення біопалива в умовах нашої країни присвячена значна кількість наукових праць: Рахметова Д. Б., 2007; Гументика М. Я., 2007; Калетник Г. М., 2013; Роїка М. В., 2015; Слюсара І. Т., 2017; Кулика М. І., 2017 та інших. В Україні фундаментальні дослідження щодо всебічного вивчення та перспектив використання енергетичних культур як паливної сировини розпочаті у кінці ХХ століття. У працях вітчизняних науковців з даного напрямку висвітлені результати досліджень з вирощування енергетичних культур в умовах Полісся України, а вирощування енергетичних культур як екологічно й економічно ефективного заходу відновлення родючості та окультурення ґрунтів, забруднених внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС в умовах Житомирського Полісся, вивчено недостатньо. Тому актуальність й недостатня опрацьованість проблеми потребує подальшого її вивчення.

Запровадження вирощування енергетичних рослин на низькопродуктивних та виведених із сільськогосподарського використання землях буде сприяти підвищенню частки біомаси в енергетичному балансі країни найближчі роки до 20–25 %.

Енергетичні рослини можна використовувати не лише у виробництві сировини для біоенергетики, а й з метою покращення загального екологічного стану навколишнього середовища. Вони добре підходять для вирощування на забруднених радіонуклідами територіях.

Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами територіях потребує науково-обґрунтованих рекомендацій щодо системи удобрення та виробництва біопалива. Глобальною проблемою в агропромисловому виробництві є збереження та відтворення родючості дерново-підзолистих ґрунтів Полісся України, які переважають у північних районах Житомирщини.

Відзначаючи цінність результатів проведених досліджень, окремі аспекти окресленої проблеми вирощування енергетичних культур для виготовлення біопалива в умовах радіоактивного забруднення залишається недостатньо вивченим та досить актуальним на сучасному етапі. Тому підбір продуктивних енергетичних культур для вирощування в умовах радіоактивного забруднення Житомирського

Полісся є важливим у теоретичному і практичному аспекті, що й зумовило вибір теми дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано у рамках державної наукової теми «Агроекологічна оцінка вирощування малопоширених енергетичних культур для виробництва біопалива на забруднених радіонуклідами територіях Полісся України» в Житомирському національному агроекологічному університеті (номер державної реєстрації 0115U004040, 2013–2016 рр.).

**Мета і завдання досліджень.** Метою дисертаційної роботи є фітореабілітація ґрунтів шляхом вирощування енергетичних культур для отримання екологічно безпечної біосировини на основі вивчення впливу забруднення радіонуклідами та важкими металами, енергетичної та економічної ефективності.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

- фітореабілітація ґрунтів шляхом вирощування енергетичних культур на дерново-підзолистих ґрунтах в умовах радіоактивного забруднення Житомирського Полісся;

- встановлення концентрації  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у ґрунтах в умовах радіоактивного забруднення, визначення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  у фітомасі енергетичних культур;

- встановлення вмісту рухомих сполук важких металів у ґрунті при вирощуванні нових енергетичних культур (сильфія пронизанолистого (*Silhium perfoliatum L.*), сорго багаторічного (*Sorghum almum Parodi*), свербиги східної (*Bunias orientalis L.*), сіди багаторічної (*Sida hermaphrodita Rusby*), міскантуса гігантеуса (*Miscanthus giganteus G.*), визначення концентрації важких металів у фітомасі досліджуваних культур;

- встановлення впливу добрив на біометричні показники та формування урожайності енергетичних культур;

- визначення енергетичної цінності основної продукції досліджуваних культур;

- визначення економічної оцінки вирощуванню енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Житомирського Полісся.

*Об'єктом досліджень є процес накопичення радіонуклідів енергетичними культурами, формування біомаси та енергоємності в умовах радіоактивного забруднення Житомирського Полісся.*

*Предметом дослідження є енергетичні культури (*Silhium perfoliatum L.*, *Sorghum almum Parodi*, *Bunias orientalis L.*, *Sida hermaphrodita Rusby*, *Miscanthus giganteus G.*), радіонукліди і важкі метали в ґрунтах та рослинах, дерново-підзолистий супіщаний ґрунт, мінеральні добрива.*

**Методи дослідження.** При виконанні роботи використовували як загальнонаукові, так і спеціальні методи досліджень: *польовий* – для проведення стаціонарних та короткострокових польових дослідів; *вимірювальноваговий* – для визначення продуктивності рослин; *аналітичний* – для визначення вмісту  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , важких металів у ґрунті та рослинах (сильфія пронизанолистого, сорго багаторічного, свербиги східної, сіди багаторічної, міскантуса гігантеуса); *порівняльно-*

*розрахунковий і статистичний* – для визначення енергетичної оцінки та економічної ефективності використання енергетичних культур.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у наступному:

*вперше:*

- на забруднених радіонуклідами дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах зони Полісся України встановлені особливості міграції радіонуклідів в ланці «ґрунт-рослина» при вирощуванні енергетичних культур для виготовлення біопалива залежно від удобрення;

- доведено, що вміст  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та важких металів у ґрунті та рослинах не перевищує встановлених нормативів;

- визначено вплив мінеральних добрив на продуктивність енергетичних культур в умовах радіоактивно забруднених ґрунтів;

*удосконалено:*

- агроекологічні аспекти вирощування енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Житомирського Полісся;

- побудовано алгоритм визначення економічної ефективності енергетичних культур, який включає окремі регресійні моделі впливу природно-кліматичних, техніко-технологічних факторів та агрохімічних характеристик ґрунту на врожайність енергетичних культур;

*набуло подальшого розвитку:*

- використання енергетичних культур для фітореабілітації забруднених радіонуклідами територій Житомирського Полісся.

**Практичне значення одержаних результатів.** Основні результати досліджень мають практичне і теоретичне значення.

Отримані результати були використані Житомирською обласною адміністрацією при розробці «Стратегії розвитку Житомирської області на період до 2027 року та Плану заходів на 2021–2023 роки з її реалізації» та Житомирською філією державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» для проведення семінарів працівникам наукових і природоохоронних установ, організацій, фермерських господарств.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені у навчальний процес Житомирського національного агроекологічного університету при викладанні навчальних дисциплін: «Радіобіологія» для студентів напряму підготовки «Екологія і охорона навколишнього природного середовища» факультету екології і права, «Лісове та садово-паркове господарство» факультету лісового господарства; «Фітоенергетика в рослинництві», «Фітоенергетика», «Еколого-біологічне рослинництво» для студентів напряму підготовки «Агрономія» агрономічного факультету; «Ведення тваринництва на радіоактивно забруднених територіях» для студентів напряму підготовки «Технологія переробки продукції тваринництва» технологічного факультету.

**Особистий внесок здобувача.** Автором особисто здійснено теоретичне обґрунтування та практичне вирішення завдань щодо розширення сировинної бази для виробництва біопалива шляхом впровадження технологій вирощування енергетичних культур, економічного, енергетичного обґрунтування ефективності елементів технології вирощування та біоенергетичної ефективності одержаної сировини в умовах радіоактивного забруднення Житомирського Полісся. Проведено

польові та лабораторні дослідження відповідно до поставлених завдань з використанням сучасних методик. За темою дисертації проведено узагальнення та аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури. Обґрунтовано результати досліджень, зроблено їх систематизацію та сформульовано основні положення дисертаційної роботи, висновки та рекомендації виробництву, підготовлені матеріали та написані статті.

Автор висловлює подяку співробітникам відділу культурної флори Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка НАН України та Житомирській філії державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» за наукову співпрацю.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень і основні положення дисертаційної роботи оприлюднено та обговорено на таких конференціях: X Всеукраїнській науковій конференції студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнології» (Житомир, 10–12 квітня 2013 р.); Всеукраїнській науковій конференції «Ботанічні сади: проблеми інтродукції та збереження рослинного різноманіття» (Житомир, 10–11 жовтня 2013 р.); Державній науково-практичній конференції «Новітні технології в рослинництві» (Біла Церква, 6 листопада 2014 р.); XI Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Наука. Молодь. Екологія – 2015» (Житомир, 28–29 травня 2015 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Органічне виробництво і продовольча безпека» (Житомир, 23–24 квітня 2015 р.); VI З'їзді радіобіологічного товариства України» (Київ, 5–9 жовтня 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Природне агровиробництво: проблеми становлення, перспективи розвитку» (Дніпропетровськ, 22–23 жовтня 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна наука, освіта, виробництво: Європейський досвід для України» (Житомир 17–18 листопада 2015 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційних досліджень опубліковано 13 наукових робіт, з яких 2 статті у наукових фахових виданнях України, внесених до міжнародних наукометричних баз даних, 3 статті у наукових фахових виданнях України, 8 матеріалів тез та доповідей у збірниках міжнародних і всеукраїнських конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація викладена на 172 сторінках комп'ютерного тексту, ілюстрована 25 таблицями і 9 рисунками. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, пропозицій виробництву, списку використаних джерел, який налічує 214 найменувань, у тому числі 33 латиницею, та 6 додатків.

### **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** розкрито суть наукової проблеми, обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, обґрунтовано зв'язок роботи з науковими програмами і темами, зазначено наукову новизну одержаних результатів, показано їх практичне значення.

### **НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР В УМОВАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ (огляд літератури)**

У **першому розділі** висвітлено досягнення вітчизняних та зарубіжних вчених щодо поширення та вирощування енергетичних культур у різних ґрунтово-

кліматичних умовах. Визначено найбільш актуальні напрями дослідження нових та малопоширених енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Полісся України для одержання високих і якісних урожаїв залежно від біологічних особливостей рослин.

## **УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ**

У другому розділі дисертації представлено програму, методику та прийоми проведення експерименту, наведена природно-кліматична характеристика регіону та об'єктів дослідження.

Складність завдань, які вирішувалися в рамках поставлених досліджень, обумовила різноманітність методичних підходів, які були використані при їх проведенні.

Полеві дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалися протягом 2013–2016 років на радіоактивно забруднених територіях, віднесених до другої зони безумовного (обов'язкового) відселення (с. Христинівка Народицького району Житомирської області). Для досягнення поставленої мети та вирішення наукового завдання був закладений дослід, схема якого представлена на двох варіантах: без внесення мінеральних добрив та з внесенням мінеральних добрив з розрахунку  $N_{50}P_{50}K_{50}$ . Полевий дослід закладали відповідно до загальноприйнятих методик у шестикратному повторенні. Розміщення повторень в один ярус (за Доспеховим Б. А., 1985 р.).

Вихідний матеріал енергетичних рослин було отримано в Національному ботанічному саду імені М. М. Гришка НАН України. Оригіном сортів: «Фітоенергія» (2008 р.), «Олімпійська» (2008 р.), «Переможець» (2008 р.), «Колумбо» (2008 р.), «Гулівер» (2012 р.) є Національний ботанічний сад імені М. М. Гришка НАН України.

Для виконання поставлених завдань проводилися:

- фенологічні спостереження енергетичних культур за методикою Держсортмережі (1975 р.); біометричні вимірювання здійснювали за методиками Б. А. Доспехова (1985 р.) та Г. М. Зайцева (1978 р.);
- облік урожайності проводили за методом пробного снопа;
- вихід енергії з фітомаси енергетичних рослин визначали на калориметрі С 200 (ІКА);
- оцінка результатів досліджень проводили за допомогою методів математичної статистики (кореляційного, регресійного та дисперсійного аналізів), (Доспехов Б. А., 1985 р.);
- вихід умовного біопалива встановлювали з використанням розрахункових коефіцієнтів на основі одержаних експериментальним шляхом даних (Блюм Я. Б., Гелетуха М. М., Григорюк П., Рахметов Д.Б.; 2010 р.);
- відбір зразків ґрунту для визначення  $^{137}Cs$ ,  $^{90}Sr$  та важких металів проводився згідно ДСТУ 4287:2004;
- лабораторні дослідження ґрунтових зразків на вміст рухомих сполук важких металів визначали методом атомно-абсорбційної спектрометрії згідно з чинними

нормативними документами: мідь – ДСТУ 4770.6:2007; цинк – ДСТУ 4770.2:2007; свинець – ДСТУ 4770.9:2007; кадмій – ДСТУ 4770.3:2007;

- щільність забруднення ґрунту радіонуклідами та питому активність радіонуклідів у фітомасі енергетичних культур визначали на універсальному спектрометричному комплексі «Гамма Плюс» з використанням сцинтиляційного гамма-спектрометра;

- у зразках ґрунту визначали агрохімічні показники: обмінну кислотність (рН) потенціанометрично ДСТУ ISO 10390:2007 (ISO 10390:2005, IDT); рухомі сполуки фосфору та обмінного калію – за Кірсановим (ДСТУ 4405:2005); гідролітичну кислотність – за методом Каппена рН-метричний ДСТУ 7537:2014; лужногідролізований азот – за Корнфілдом ДСТУ 7863:2015; суму ввібраних основ ГВК – за Каппеном ГОСТ 27821; вміст гумусу – за Тюріним (ДСТУ 4289:2004);

- для встановлення поживної цінності корму визначали: початкову вологість – висушування зразків за температури 60–65 °С; абсолютно суху речовину – висушування за температури 100–105 °С; сирий протеїн – по загальному азоту; сиру клітковину – за Генебергом та Штоманом; сиру золу – шляхом спалювання зразків у муфельній печі; сирий жир – в апараті Сокслета.

Ґрунт дослідної ділянки характеризується супіщаним механічним складом, доброю водопроникністю та аерацією.

Територія дослідної ділянки характеризується рівнинним рельєфом. Глибина ґрунтових вод – орієнтовно 1,5 м. Ґрунт від соляної кислоти скипає з поверхні по материнську породу. Ґрунт дослідної ділянки – дерново-середньопідзолистий, глеюватий на водольодовикових покладах.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У третьому розділі висвітлені особливості росту енергетичних культур, що характеризуються високим біологічним потенціалом, реалізація якого залежить від погодно-кліматичних умов довкілля, рівня адаптивності сортів та елементів технології вирощування культур.

Аналіз взаємообумовленості рівня продуктивності енергетичних культур погодними умовами дозволив встановити вплив цього фактору на процес формування продуктивності рослин упродовж вегетації, визначити критичні періоди і прийоми попередження або зниження негативного впливу погодних чинників. Тривалість етапів онтогенезу, особливо на початку вегетації, в значній мірі визначається сумою активних і ефективних температур. Оподи були домінуючими чинниками впродовж проростання насіння сіди багаторічної, сільфія пронизанолистого, сорго багаторічного свербіги східної та ризом міскантуса гігантеуса у міжфазні періоди вегетації.

Встановлено позитивний вплив рівня удобрення на лінійний ріст всіх енергетичних культур. Ріст рослин спостерігався від початкових етапів онтогенезу, та до його закінчення, енергетичні рослини досягали такої висоти: свербіга східна від 130 до 170 см, сорго багаторічне від 208 до 240 см, сільфій пронизанолистий від 244 до 315 см, сіда багаторічна від 230 до 252 см, міскантус



гігантеус від 250 до 367 см. Висота рослин прямопропорційно збільшувалась із внесенням мінеральних добрив.

**Забур'яненість посівів енергетичних культур при вирощуванні на радіоактивно забрудненій території.** Чистота посівів від бур'янів є невід'ємною умовою високої культури землеробства.

У наших дослідженнях не вносилися гербіциди після посіву енергетичних культур, а проводили лише низку міжрядних обробітків ґрунту у період вегетації, що, у свою чергу, забезпечили чистоту посівів енергетичних культур.

Найбільш поширеними бур'янами із злакових бур'янів були такі: пирій повзучий (*Elytrigia repens* L.), куряче просо (*Echinochloa crus galli* P.B.), метлиця польова (*Apera-spica venti* P. B.), а з дводольних – лобода біла (*Chenopodium album* L.), берізка польова (*Convolvulus arvensis* L.), осот рожевий (*Cirsium arvense* L. Scop), ромашка непахуча (*Matricaria inodora* L.), грицики звичайні (*Capsella bursa pastoris* L.) та інші бур'яни.

Результати забур'яненості енергетичних культур при вирощуванні в умовах радіоактивного забруднення Житомирського Полісся представлені у таблиці 1 та на рисунку 1.

Таблиця 1

**Середня забур'яненість посівів енергетичних культур за 2014–2016 рр.**

Назва культури	Варіант	Кількість бур'янів, шт./м <sup>2</sup>			
		злакові		дводольні	
		шт./м <sup>2</sup>	%	шт./м <sup>2</sup>	%
Сіда багаторічна	Контроль	49	27,4	130	72,6
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	61	29,6	145	70,4
Свербіга східна	Контроль	63	31,5	137	68,5
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	70	33	142	67
Сильфій пронизано-листяний	Контроль	55	32,9	112	67,1
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	63	33,5	125	66,5
Сорго багаторічне	Контроль	65	32,5	135	67,5
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	74	33,6	146	66,4
Міскантус гігантеус	Контроль	48	29,8	113	70,2
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	57	30,6	129	69,4
НІР05		5,58		5,84	

Посіви міскантуса гігантеуса та сильфія пронизанолистого у роки досліджень мали найнижчу забур'яненість у порівнянні з іншими досліджуваними культурами у

результаті високої інтенсивності росту і розвитку цих культур, які виявилися більш конкурентноздатними та затінювали площу і, тим самим, стримували розвиток бур'янів. Кількість бур'янів становила 161 шт./м<sup>2</sup> – 48 – злакові (29,8 %), 113 – дводольні (70,2 %) при вирощуванні міскантусу без застосування добрив та 186 шт./м<sup>2</sup> – 57 шт./м<sup>2</sup> – злакові (30,6 %), 129 шт./м<sup>2</sup> – дводольні (69,4 %) – при вирощуванні із внесенням добрив.

При вирощуванні сільфії у контролі кількість бур'янів становила 167 шт./м<sup>2</sup> – 55 – злакові (32,9 %), 112 – дводольні (67,1 %), а при вирощуванні із застосуванням добрив – 188 шт./м<sup>2</sup> – 63 – злакові (33,5 %), 125 – дводольні (66,5 %).

Найбільш забрудненими були посіви сорго багаторічного із застосуванням добрив 220 шт./м<sup>2</sup>: 74 – злакові (33,6 %), 146 – дводольні (66,4 %) та свербиги східної із застосуванням добрив 212 шт./м<sup>2</sup>: 70 – злакові (33,0 %), 142 – дводольні (66,5 %).

Водночас міжрядний обробіток ґрунту проводили частіше у порівнянні з іншими культурами. Кількість бур'янів при вирощуванні цих енергетичних культур у контролі становила: 200 шт./м<sup>2</sup> – 65 (32,5 %) і 63 (31,5 %) злакові; 135 (67,5 %) і 137 (68,5 %) дводольні.

Забур'яненість посівів сіди багаторічної була на рівні 179 шт./м<sup>2</sup> – 49 (27,4 %) і 61 (29,6 %) злакові та 130 (72,6 %) і 145 (70,4 %) дводольні, відповідно, при вирощуванні без добрив та із застосуванням добрив.

Порівнюючи забур'яненість посівів енергетичних культур між варіантами, встановлено, що забур'яненість посівів енергетичних культур за внесення мінеральних добрив була на 15,1 % вище при вирощуванні сіди; на 6,0 % – при вирощуванні свербиги; на 12,6 % – при вирощуванні сільфії; на 10,0 % – при вирощуванні сорго та на 15,5 % – при вирощуванні міскантусу. Подібна закономірність мала місце і по кількості злакових і дводольних бур'янів.

Водночас, найбільша забур'яненість при вирощуванні енергетичних культур в усіх варіантах дослідження відмічена у сприятливому за погодними умовами 2015 році. У 2014 році забур'яненість посівів була нижчою у середньому на 38 %, а у 2016 році – на 24 % у порівнянні із 2015 роком.

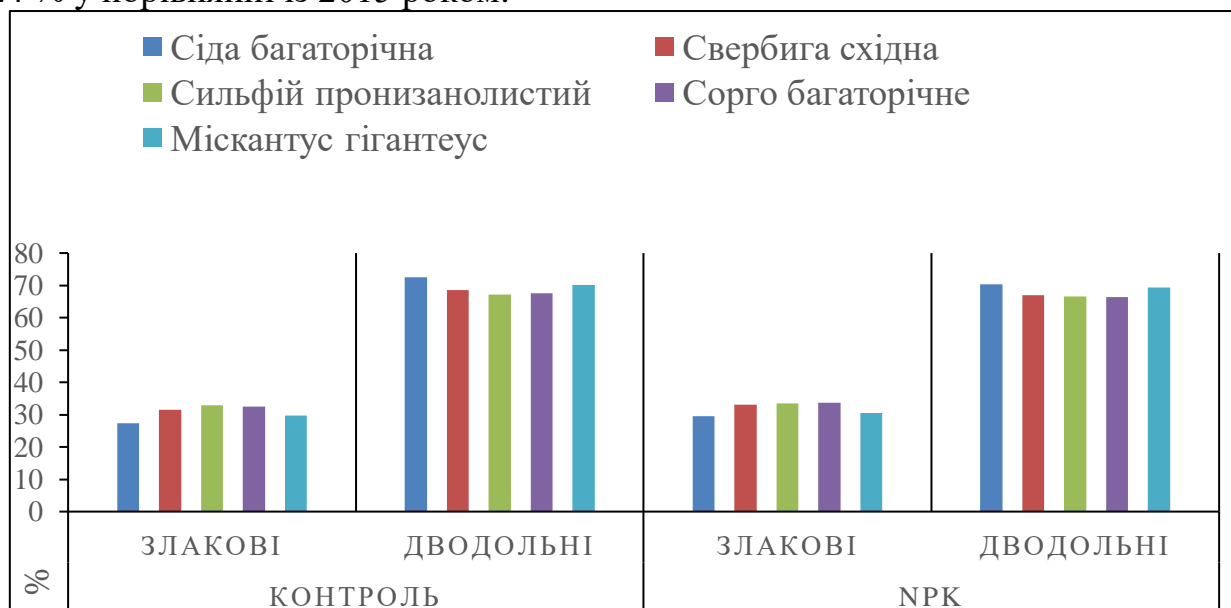


Рис. 1. Забур'яненість посівів енергетичних культур

Зважаючи на високу забур'яненість посівів енергетичних культур у фазі кушення, бур'яни знищували шляхом міжрядного обробітку ґрунту, що забезпечило зниження забур'яненості до порогу шкодочинності.

Таким чином, проведеними дослідженнями встановлено, що забур'яненість досліджуваних посівів енергетичних культур залежала від удобрення та погодних умов і була високою.

Найвища забур'яненість мала місце у посівах свербиги східної та сорго багаторічного, а сіда багаторічна, сільфій пронизанолистий, міскантус гігантеус здатні пригнічувати ріст бур'янів.

**Урожайність енергетичних культур при вирощуванні на радіоактивно забрудненій території.** Урожайність енергетичних культур прямолінійно залежить від кліматичних, ґрунтових та інших умов, головною із яких і є підтримання балансу поживних елементів за допомогою внесення мінеральних добрив.

Варіант удобрення, який спільний для всіх енергетичних культур та погодні умови не однаково вплинули на показники їх врожайності (табл. 2).

За результатами досліджень встановлено, що приріст зеленої маси сіди багаторічної, сільфія пронизанолистого, сорго багаторічного, свербиги східної та міскантуса гігантеуса при внесенні добрив за період вегетації був вищим у порівнянні із варіантом без внесення добрив на 35,0 %, 36,7 %, 28,6 %, 25,2 %, 33,4 %, відповідно. Разом з тим урожайність енергетичних культур із застосуванням добрив по роках дослідження відрізнялася від урожайності на ділянках без внесення добрив і була значно вищою. При вирощуванні сіди багаторічної різниця по роках становила 9,6 %, 30,5 %, 59,3 %, сільфія пронизанолистого – 10,0 %, 27,7 %, 52,7 %, сорго багаторічного – 8,5 %, 22,8 %, 44,1 %, свербиги східної – 7,9 %, 22,0 %, 36,7 %, міскантуса гігантеуса – 10,2 %, 29,5 %, 46,6 %, відповідно. Доведено, що найкраще реагувала на вплив добрив сіда багаторічна.

Таблиця 2

**Урожайність фітомаси енергетичних культур при вирощуванні в умовах радіоактивного забруднення Полісся України, т/га (2014–2016 рр.)**

Культура	Варіант	2014 р.	2015 р.	2016 р.	Середнє за (2014–2016 рр.)
Сіда багаторічна	Без добрив	32,2	37,6	40,8	36,9
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	35,3	49,1	65,0	49,8
Сільфій пронизанолистий	Без добрив	20,9	40,4	58,0	39,8
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	23,0	51,6	88,6	54,4
Сорго багаторічне	Без добрив	21,2	32,4	39,7	31,1
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	23,0	39,8	57,2	40,0
Свербига східна	Без добрив	22,9	31,8	41,7	32,1
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	24,7	38,8	57,0	40,2
Міскантус гігантеус	Без добрив	25,4	41,0	56,6	41,0
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	28,0	53,1	83,0	54,7
НІР		1,14	0,83	1,69	

Отже, внесення мінеральних добрив на дерново-підзолистих ґрунтах по відношенню до усіх досліджуваних культур було ефективним і забезпечило значний приріст урожайності зеленої маси енергетичних культур. Найбільш продуктивними рослинами виявилися сільфій пронизанолистий та міскантус гігантеус, урожай яких у середньому за три роки досліджень становив 54,4–54,7 т/га.

**Енергетичний потенціал досліджуваних культур.** Важливим показником оцінки енергетичних культур є вихід енергії (рис. 2).

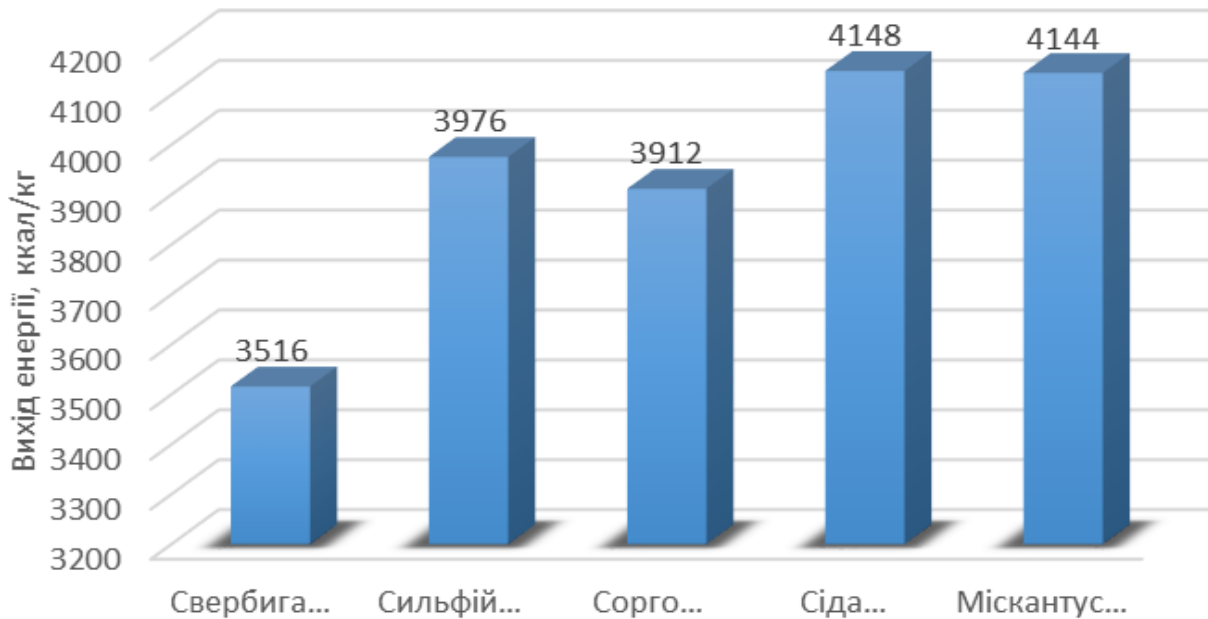


Рис. 2. Вихід енергії з біомаси енергетичних рослин на фоні  $N_{50}P_{50}K_{50}$  за вирощування в умовах радіоактивного забруднення Полісся Житомирщини

Найвищі показники енергоефективності мали сіда багаторічна та міскантус гігантеус 4148 і 4144 ккал/кг, відповідно. Найменшим виходом енергії характеризувалися свербига східна та сорго багаторічне – 3516 та 3912 ккал/кг.

Поряд з використанням сировини для виготовлення біопалива з енергетичних культур використовується вся продукція, у тому числі і побічна як носій теплоенергії. Показники виходу енергії енергетичних культур підтверджують комплексне безвідходне використання високопродуктивних енергетичних культур для виробництва біогазу і отримання теплової енергії із побічної продукції.

**Міграція радіонуклідів у ланцюзі «ґрунт-рослина».** Відомо, що значна частина Полісся України постраждала внаслідок аварії на ЧАЕС. Незважаючи на тривалий період після аварії рівні забруднення радіонуклідами ґрунтів та рослин і досі залишаються високими. Наразі зниження вмісту радіонуклідів в рослинницькій продукції та ґрунтах є надважливою проблемою. Основними радіонуклідами, які визначають радіаційний стан територій Полісся Житомирщини, є  $^{90}\text{Sr}$   $^{137}\text{Cs}$ . Радіоактивні ізотопи, які знаходяться в ґрунті, поступово мігрують по профілю і

частково вимиваються в ґрунтовій воді. Проте, ґрунт досить міцно утримує основну масу радіонуклідів, які тривалий час знаходяться в ґрунтовому покриві і безпосередньо переходять у рослини. Типовими для цієї зони є дерново-підзолисті ґрунти, які в свою чергу, відзначаються високою біологічною міграцією радіонуклідів. Враховуючи всі вищезазначені обставини та актуальність проблеми, слід розглянути такі питання, які частково вирішують проблему відтворення родючості ґрунту та зменшують питому активність  $^{90}\text{Sr}$   $^{137}\text{Cs}$  в рослинницькій продукції. За результатами досліджень встановлено, що на дослідних ділянках, де вирощувалися енергетичні культури, щільність забруднення ґрунту надалі залишається досить високою (табл. 3).

Для виробництва біопалива доцільніше вирощувати не лише традиційні, а й малопоширені енергетичні культури переважно багаторічні, які врожайніші, менш енерговитратні і можуть вирощуватися на землях, непридатних для традиційних сільськогосподарських культур.

Таблиця 3

**Концентрація радіонуклідів та коефіцієнти переходу із ґрунту у фітомасу енергетичних рослин (2014–2016 рр.)**

Культура	Варіант	Щільність забруднення ґрунту, кБк/м <sup>2</sup>		Питома активність фітомаси рослин, Бк/кг		КП	
		$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{90}\text{Sr}$
Сіда багаторічна	Без добрив	988,4	18,9	161	142	0,16	7,51
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	902,2	17,5	132	123	0,15	7,03
Сильфій пронизано-листяний	Без добрив	994,7	19,9	482	193	0,48	9,70
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	862,6	18,2	410	168	0,47	9,23
Сорго багаторічне	Без добрив	1005,4	19,8	210	103	0,21	5,20
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	930,9	18,2	173	87	0,19	4,78
Свербіга східна	Без добрив	987,6	20,4	399	162	0,40	7,94
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	854,3	18,6	341	137	0,40	7,36
Міскантус гігантеус	Без добрив	998,5	19,0	184	94	0,18	4,95
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	907,4	17,7	152	78	0,17	4,22
НІР05		24,89	0,65	10,54	6,20		

Так, щільність забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  на дослідних ділянках варіювала в межах 854,3–1005,4 кБк/м<sup>2</sup>. Найбільша його щільність забруднення відмічена на дослідних ділянках сорго багаторічного 930,9–1005,4 кБк/м<sup>2</sup>, міскантуса гігантеуса – 907,4–998,5 кБк/м<sup>2</sup>, свербіги східної – 854,3–987,6 кБк/м<sup>2</sup>.

Щільність забруднення ґрунту досліджуваних ділянок  $^{90}\text{Sr}$  варіювала у межах 17,5–20,4 кБк/м<sup>2</sup>. Найбільш забрудненими були ґрунти на ділянках сверби́ги східної, де концентрація  $^{90}\text{Sr}$  становила 18,6–20,4 кБк/м<sup>2</sup>. Найменшу щільність забруднення ґрунту  $^{90}\text{Sr}$  відмічено на ділянках сіди багаторічної (17,5–18,9 кБк/м<sup>2</sup>) та міскантуса гігантеуса (17,7–19,0 Бк/кг).

Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у фітомасі сільфія пронизанолистого була у межах 410–482 Бк/кг, а у сверби́ги східної – 341–399 Бк/кг.

Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  також була найвищою у рослинах сільфія пронизанолистого (168–193 Бк/кг) та у фітомасі сверби́ги східної (137–162 Бк/кг), а найнижчою у фітомасі сіди багаторічної (132–161 Бк/кг<sup>2</sup>) та міскантуса гігантеуса (152–184 Бк/кг). Концентрація  $^{90}\text{Sr}$  була найнижчою у фітомасі міскантуса гігантеуса і варіювала від 78–94 Бк/кг та у рослинах сорго багаторічного – 87–103 Бк/кг.

Найвищі коефіцієнти переходу  $^{137}\text{Cs}$  були із ґрунту у рослини сільфія пронизанолистого та сверби́ги східної і становили 0,47 (варіант із застосуванням мінеральних добрив) та 0,48 (у варіанті без добрив).

Коефіцієнти переходу  $^{90}\text{Sr}$  із ґрунту в рослини були найнижчими у міскантуса гігантеуса – 4,22 (варіант із внесенням добрив), 4,95 (без добрив) та у сорго багаторічного – 4,78–5,20, відповідно, по варіантах. Найвищими показниками коефіцієнту переходу  $^{90}\text{Sr}$  характеризувалися сільфій пронизанолистий (9,23–9,70), сіда багаторічна (7,03–7,51) та сверби́га східна (7,36–7,94), відповідно.

**Особливості накопичення важких металів у ґрунті.** Встановлено, що накопичення важких металів у ґрунті не залежить від щільності забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$ . Відмічено найнижчу концентрацію токсикантів при вирощуванні усіх енергетичних культур у варіанті без добрив (табл. 4).

Таблиця 4

**Вміст рухомих сполук важких металів у ґрунті при вирощуванні енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення (2014–2016 рр.)**

Культура	Варіант	Важкі метали, мг/кг			
		свинець	кадмій	мідь	цинк
Сіда багаторічна	Без добрив	0,76	0,036	0,080	1,80
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	0,85	0,041	0,078	2,01
Сільфій пронизанолистий	Без добрив	0,79	0,037	0,089	2,18
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	0,87	0,040	0,086	2,40
Сорго багаторічне	Без добрив	0,72	0,034	0,085	2,10
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	0,79	0,038	0,083	2,36
Сверби́га східна	Без добрив	0,73	0,040	0,091	2,20
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	0,81	0,044	0,088	2,43
Міскантус гігантеус	Без добрив	0,80	0,038	0,084	1,83
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	0,86	0,042	0,082	2,07
ГДК, мг/кг		6,0	0,7	3,0	23,0
НІР <sub>05</sub>		0,03	0,008	0,009	0,07

Так, вміст свинцю знаходився у межах 0,72–0,87 мг/кг, кадмію – 0,034 мг/кг на ділянках сорго багаторічного та 0,044 мг/кг свербиги східної. Вміст рухомих сполук міді був на дуже низькому рівні забезпеченості і варіював від 0,078 до 0,091 мг/кг. Забезпеченість дослідних ділянок рухомих цинком знаходилася на середньому (1,80 мг/кг) та підвищеному рівнях (2,43 мг/кг).

Аналіз вмісту важких металів у ґрунтах є репрезентативним показником екологічного стану території. За результатами трирічних досліджень встановлено, що в ґрунтах дослідних ділянок на яких вирощувалися енергетичні культури, вміст важких металів, а саме рухомих сполук свинцю, кадмію, міді та цинку, знаходився у межах гранично допустимих концентрацій.

**Концентрація важких металів у фітомасі енергетичних культур.** Концентрація свинцю у фітомасі енергетичних рослин була найвищою у сильфії пронизанолистого – 2,65–2,89 мг/кг та свербиги східної – 2,53–2,77 мг/кг, відповідно до варіантів досліду, а найнижчий його вміст – у рослинах сіди багаторічної (1,65–1,77 мг/кг). Найнижчу концентрацію кадмію відмічено у фітомасі сіди багаторічної (0,186–0,198 мг/кг), а найвищу концентрацію – у рослинах сильфії пронизанолистого (0,234–0,253 мг/кг), (табл. 5).

Вміст міді був найвищим у рослинах свербиги східної (5,26–5,47 мг/кг) та сильфії пронизанолистого (5,60–5,79 мг/кг), а найменший – у фітомасі сіди багаторічної (4,00–4,21 мг/кг).

Найвищий вміст цинку відмічено у рослинах сильфії пронизанолистого і варіював він від 32,83 мг/кг до 34,50 мг/кг, а найнижча його концентрація була у міскантуса гігантеуса та сіди багаторічної при вирощуванні без застосування добрив (25,55–26,44 мг/кг).

Таблиця 5

**Концентрація важких металів у фітомасі енергетичних культур  
в умовах радіоактивного забруднення (2014–2016 рр.)**

Культура	Варіант	Важкі метали, мг/кг (абс.сух.маси)			
		Pb	Cd	Cu	Zn
Сіда багаторічна	Без добрив	1,65	0,186	4,21	26,44
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	1,77	0,198	4,00	28,10
Сильфій пронизанолистий	Без добрив	2,65	0,234	5,79	32,83
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	2,89	0,253	5,60	34,50
Сорго багаторічне	Без добрив	2,02	0,197	5,38	27,94
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	2,19	0,212	5,15	29,80
Свербига східна	Без добрив	2,53	0,221	5,47	31,50
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	2,77	0,240	5,26	33,02
Міскантус гігантеус	Без добрив	1,87	0,191	4,79	25,55
	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	2,02	0,205	4,57	27,10
ГДК, мг/кг		5,0	0,3	10,0	50,0
НІР <sub>05</sub>		0,11	0,01	0,14	1,24

Встановлено, що характер накопичення рослинами важких металів залежав від виду культури. Таким чином, концентрація важких металів у рослинах енергетичних культур при вирощуванні в умовах радіоактивного забруднення знаходилася у межах гранично допустимих концентрацій.

### КОРМОВА ЦІННІСТЬ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

У четвертому розділі проведено порівняльну характеристику поживної цінності енергетичних культур та найбільш поширеної кормової культури – конюшини червоної в якості контролю.

Біохімічний аналіз показав, що усі енергетичні культури мають достатній вміст поживних речовин, що дозволяє їх прирівнювати до традиційних кормових культур. Найбільш цінною кормовою культурою є свербіга східна, яка містить 19,43 % сирого протеїну, що лише на 1,4 % нижче показника конюшини; 13,03 % – сирої клітковини, що значно нижче контролю (20,0 %) та 3,48 % – сирого жиру, що знаходиться майже на рівні показника конюшини (3,10 %), (табл.6).

Що стосується інших енергетичних культур, то їх поживність значно нижча у порівнянні з поживною цінністю конюшини червоної. Сильфій пронизанолистий та сіда багаторічна мали вміст сирого протеїну лише 8,43–10,31 %, що є меншим у порівнянні із контролем (19,7 %) та свербігою східною (19,43 %). Встановлено, що найменшою поживністю характеризується сорго багаторічне (вміст сирого протеїну 7,43 %).

Таблиця 6

#### Порівняльна характеристика біохімічного складу енергетичних культур, за застосування мінеральних добрив $M \pm m$

Показник	Сіда багаторічна	Сильфій пронизанолистий	Свербіга східна	Сорго багаторічне	Конюшина червона (контроль)
Суха речовина, %	28,00±2,45	22,70±2,59	20,40±3,40	22,24±2,44	19,7–20,51
Сирий протеїн, % (на абс.сух.реч.)	10,31±0,32	8,43±0,22	19,43±0,54	7,43±0,20	19,7–20,51
Сира клітковина, % (на абс.сух.реч.)	22,60±0,78	18,37±0,68	13,03±0,67	31,42±0,98	20,0–23,60
Сирий жир, %, на абс.сух.реч.	3,73±0,18	2,70±0,12	3,48±0,13	3,29±0,11	3,10–3,85
Сира зола, %, на абс.сух.реч.	9,84±0,29	13,54±0,34	15,82±0,53	7,18±0,24	7,8–9,6
Кальцій, %	1,21±0,05	1,69±0,07	1,35±0,06	0,65±0,03	1,68–1,80



Біохімічний аналіз показав, що свербигу східну найбільш доцільно вирощувати з метою отримання поживного, вітамінного корму для сільськогосподарських тварин.

### **ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР**

Поновлювані рослинні джерела енергії мають стати ваговою частиною світового енергетичного потенціалу у зв'язку із фізичним зменшенням запасів викопних енергетичних ресурсів (вугілля, газ, нафта), збільшенням населення планети та негативних екологічних наслідків при їх спалюванні та викидів парникових газів. Враховуючі ці тенденції вирощування енергетичних рослин, отримало значний розвиток у багатьох країнах світу. Для прикладу, у Німеччині під енергетичними культурами (мається на увазі на енергетичні цілі, оскільки здебільшого вирощують кукурудзу та інші культури) зайнято близько 2,1 млн га, або 12,5 % від усіх використовуваних загалом в країні сільськогосподарських угідь. Але потрібно відміти, що в Україні за останнє десятиріччя спостерігається суттєве збільшення обсягів енергоспоживання на основі енергії біопалива та відходів.

Аналіз публікацій наукової спільноти в напрямі моделювання ефективності вирощування та переробки енергетичних культур показав комплекс моделей, кожна з яких є унікальною та особливою (рис. 2). На основі побудованої нами комплексної моделі проведемо симуляцію двох сценаріїв: 1) посуха; 2) без добрив.

**Сценарій «Посуха».** За цього сценарію виставимо ГДК у всі місяці вегетації 0,5, а кількість опадів розглянемо в динаміці від 90 до 240 мм. Як видно із змодельованого процесу, стійким до посухи є сорго багаторічне, тоді як найбільш вологолюбива енергетична культура є свербига східна. Встановлено, що на Поліссі України посухою вважається період, якщо протягом вегетаційного періоду кількість опадів становить не більше 150 мм, а коефіцієнти ГДК не більше 0,5. Прибуток зменшиться в 5,3 рази при вирощуванні сіди багаторічної, в 4,2 рази – сільфія пронизанолистого, 2,6 рази – сорго багаторічного.

**Сценарій «Без добрив».** За цього сценарію обсяги внесення мінеральних добрив прирівняємо до 0, таким чином, ми змодельуємо врожайність, а відповідно і прибуток без врахування витрат на добрива. Співставлення базового сценарію та сценарію «Без добрив» дає можливість розрахувати ефективність внесення мінеральних добрив. В нашому випадку вартість добрив відома, тому ми розраховуємо ефективність внесення мінеральних добрив.

В результаті проведених розрахунків встановлено, що сільфій пронизанолистий та міскантус гігантеус мають найменшу економічну ефективність внесення мінеральних добрив, так як коефіцієнт рентабельності внесення добрив становить 1,02 та 1,10, це свідчить про те, що вкладена 1 гривня у внесення мінеральних добрив приносить 2 та 10 копійки прибутку, відповідно.

Результати економічної та енергетичної оцінки показали, що ефективність вирощування сільфія пронизанолистого, сорго багаторічного, свербиги східної та сіди багаторічної у значній мірі залежали від тривалості використання плантацій, рівня мінерального живлення та від кліматичних умов. Зелену масу культур у перший рік вегетації доцільно використовувати не раніше, ніж рослини досягнуть фази бутонізації.

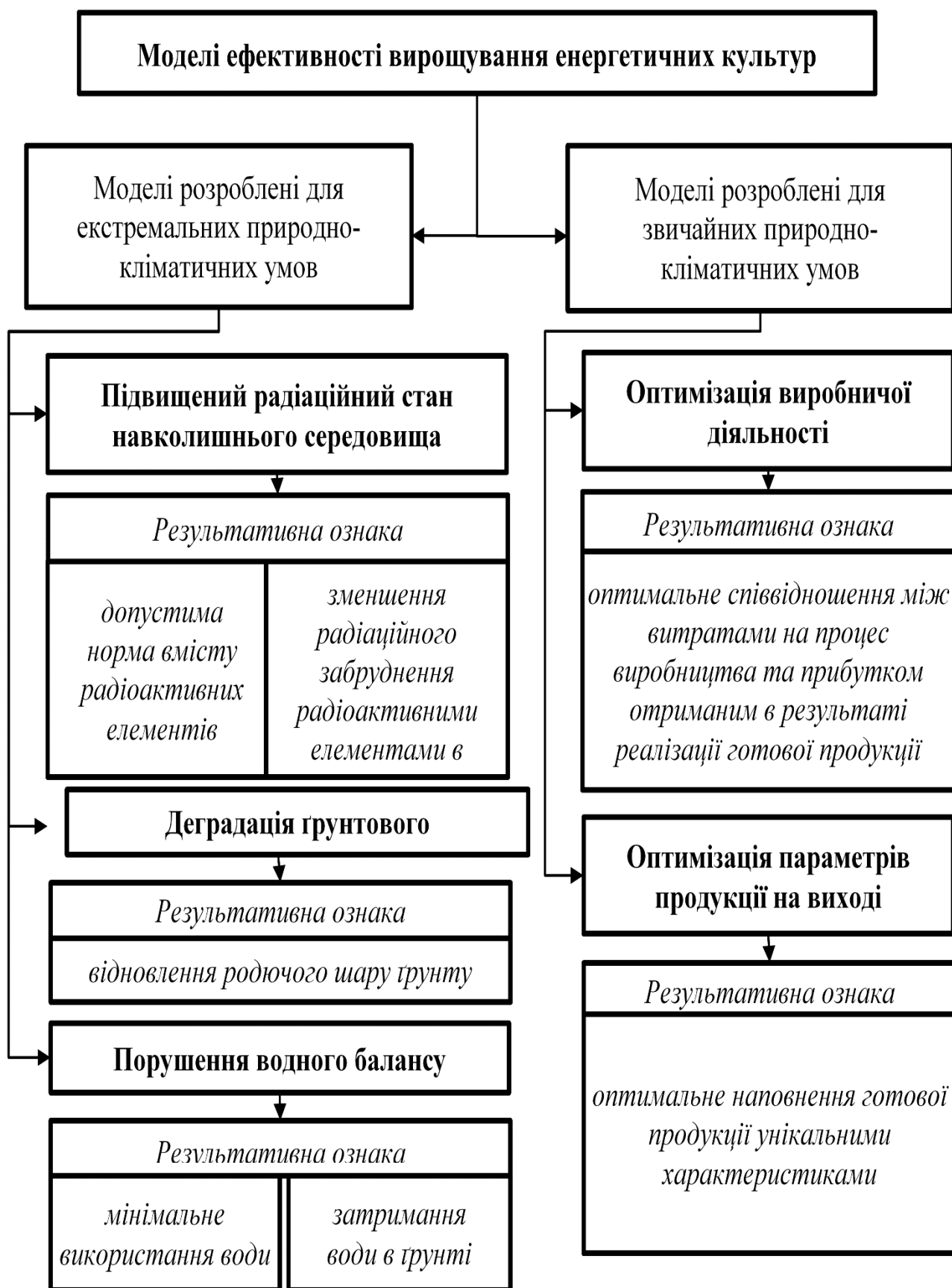


Рис. 3. Моделі ефективності вирощування енергетичних культур

Наразі економічна ефективність біомаси енергетичних культур оцінюється на основі польових експериментів та моделей вирощування сільськогосподарських культур. Недоліком використання польових експериментів для оцінки біомаси є те, що вони можуть не бути репрезентативними через просторову неоднорідність умов ділянки. Але польові експерименти надають сюжетну інформацію, яка покращує економіко-організаційне (оптимальне виробництво) розуміння того, як клімат, ґрунти та поводження з посівами, такі як зрошення чи внесення добрив, впливають на потенційне виробництво біомаси, що також необхідно для розробки та оцінки моделей економічної ефективності вирощування енергетичних сільськогосподарських культур. Такі моделі корисні для виробничого обґрунтування та прогнозування врожаю чи зміни в навколишньому середовищі поля на регіональному масштабі.

Таким чином, результати наших досліджень, з урахуванням досліджень інших авторів, дають можливість зробити висновки, що усі енергетичні культури можна використовувати у якості кормових культур для безпосереднього згодовування, виготовлення сінажів, силосів та трав'яного борошна.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове розв'язання наукової проблеми, яка полягає в обґрунтуванні можливості вирощування енергетичних культур для отримання екологічно безпечної біосировини на забруднених радіонуклідами територіях Житомирського Полісся.

1. Дослідження проведені в с. Христинівка, показали, що на дослідних ділянках, де вирощувалися енергетичні культури, щільність забруднення ґрунту  $^{137}\text{Cs}$  залишалася досить високою та варіювала в межах 854,3–1005,4 кБк/м<sup>2</sup>. Найбільшу щільність забруднення ґрунту відмічено на дослідних ділянках при вирощуванні сорго багаторічного. Щільність забруднення ґрунту досліджуваних ділянок  $^{90}\text{Sr}$  варіювала у межах 17,5–20,4 кБк/м<sup>2</sup>. Найбільш забрудненими були ділянки свербиги східної, де концентрація  $^{90}\text{Sr}$  становила 18,6–20,4 кБк/м<sup>2</sup>. Найменшу щільність забруднення ґрунту  $^{90}\text{Sr}$  відмічено на ділянках сіди багаторічної (17,5–18,9 кБк/м<sup>2</sup>) та міскантуса гігантеуса (17,7–19,0 Бк/кг).

2. Доведено, що найвища питома активність  $^{137}\text{Cs}$  спостерігалась у фітомасі сільфія пронизанолистого (410–482 Бк/кг), а найнижча – у сіди багаторічної (132–161 Бк/кг<sup>2</sup>) та міскантуса гігантеуса – (152–184 Бк/кг). Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  також була найвищою у рослинах сільфія пронизанолистого (168–193 Бк/кг) та у фітомасі свербиги східної – (137–162 Бк/кг). Концентрація  $^{90}\text{Sr}$  була найнижчою у міскантуса гігантеуса і варіювала від 78–94 Бк/кг та у сорго багаторічного – 87–103 Бк/кг.

3. Найвищі коефіцієнти переходу  $^{137}\text{Cs}$  були із ґрунту у рослини сільфія пронизанолистого та свербиги східної і становили 0,47 (із застосуванням мінеральних добрив) та 0,48 (без добрив).

4. Коефіцієнти переходу  $^{90}\text{Sr}$  із ґрунту в рослини були найнижчими у міскантуса гігантеуса – 4,22 (із внесенням добрив), 4,95 (без добрив) та у сорго багаторічного – 4,78–5,20, відповідно. Найвищими показниками коефіцієнту переходу  $^{90}\text{Sr}$

характеризувалися сильфій пронизанолистий (9,23–9,70), сіда багаторічна (7,03–7,51) та свербига східна (7,36–7,94), відповідно.

5. Вміст важких металів у ґрунті та рослинах знаходився у межах гранично допустимих концентрацій та мали слабкий рівень забруднення. Проте, вміст рухомих сполук міді був на дуже низькому рівні забезпеченості і варіював від 0,078 до 0,091 мг/кг, а забезпеченість дослідних ділянок рухомих цинком знаходилась на середньому та підвищеному рівнях 1,80–2,43 мг/кг, відповідно.

6. Встановлено, що приріст зеленої маси досліджуваних культур за період вегетації був вищим у порівнянні із фоном без внесення добрив для сіди багаторічної на 35,0 %, а найменшим для свербиги східної на 25,2 %. Найбільш продуктивними рослинами виявилися сильфій пронизанолистий та міскантус гігантеус, урожай яких у середньому за три роки досліджень становив 54,4–54,7 т/га, найменшою урожайністю характеризувалась свербига східна – 32,1 т/га.

7. Найвищі показники енергопродуктивності мали сіда багаторічна та міскантус гігантеус 4148 і 4144 ккал/кг, відповідно. Найменшим виходом енергії характеризувалися фітосировина свербиги східної та сорго багаторічного – 3516 та 3912 ккал/кг.

8. Встановлено, що найбільш цінною кормовою культурою є свербига східна, яка містить 19,43 % сирого протеїну, що на 1,4 % нижче показника конюшини; 13,03 % – сирі клітковини, що значно нижче контролю (20,0 %) та 3,48 % – сирого жиру, що на рівні показника конюшини (3,10 %) яку доцільно вирощувати для виготовлення поживного корму для сільськогосподарських тварин.

9. Розрахунок показників економічної ефективності вирощування енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення показав, що всі досліджувані культури є рентабельні (263–370 %), а найбільш рентабельною культурою є сильфій пронизанолистий (370 %). На основі економіко-статистичної імплементації розробленого алгоритму побудовано імітаційну модель економічної ефективності вирощування енергетичних культур. Модель має високий рівень достовірності та адекватності.

### **ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ**

Для відтворення родючості дерново-підзолистого супіщаного ґрунту зони Полісся України, забрудненого радіонуклідами, важкими металами та для отримання екологічно безпечної продукції з енергетичних рослин рекомендуємо господарствам різних форм власності: вирощувати міскантус гігантеус, сильфій пронизанолистий та сіду багаторічну. Результати дисертаційного дослідження використовуються Житомирською філією державної установи «Інститут охорони ґрунтів України» для проведення семінарів працівникам наукових і природоохоронних установ, організацій, фермерських господарств, написання наукових звітів.

Результати досліджень були використані Житомирською обласною адміністрацією при розробці Стратегії розвитку Житомирської області на період до 2027 року та Плану заходів на 2021–2023 роки з її реалізації.

Результати дисертаційної роботи були впровадженні у навчальний процес ЖНАЕУ.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**  
**Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:**

1. Ковальова С. П., **Можарівська І. А.** Концентрація важких металів у ґрунті при вирощуванні енергетичних культур на території радіоактивного забруднення. *Наукові горизонти*. 2020. № 03 (88). С. 121–126. (Особистий внесок – опрацювання літературних джерел, відбір зразків ґрунту, узагальнення експериментальних даних).

2. **Можарівська І. А.** Особливості вирощування *Silphium perfoliatum* L. в умовах радіоактивного забруднення Полісся України. *Агроекологічний журнал*. 2016. № 4. С. 153–158. (Особистий внесок – відбір фітомаси, опрацювання літературних джерел та формулювання висновків).

**Статті у наукових фахових виданнях України:**

3. **Можарівська І. А.** Технологія вирощування малопоширених енергетичних культур для виробництва різних видів біопалива. *Наукові праці інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. Вип. 19. С. 85–89. (Особистий внесок – проведення фенологічних спостережень, аналіз результатів досліджень та побудова графіків).

4. **Можарівська І. А.**, Борисюк Л. Б., Ковальова С. П. Накопичення <sup>137</sup>Cs енергетичними рослинами. *Вісник ЖНАЕУ*. 2016. № 1 (55), т. 3. С. 220–224. (Особистий внесок – відбір зразків ґрунту та рослин, аналіз і узагальнення отриманих даних).

5. Романчук Л. Д., Василюк Т. П., **Можарівська І. А.** Ріст і розвиток сорго багаторічного в умовах Полісся України. *Вісник ЖНАЕУ*. 2013. № 2 (38), т. 1. С. 3–8. (Особистий внесок – проведення фенологічних спостережень, опрацювання літературних джерел, аналіз отриманих даних та формулювання висновків).

**Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

6. **Можарівська І. А.**, Романчук Л. Д. Вирощування енергетичних рослин як один з напрямків вирішення екологічної та енергетичної проблеми в Україні. Сучасні проблеми екології та геотехнологій: матеріали X Всеукр. наукової конференції студентів, магістрів та аспірантів (10–12 квітня 2013 р.). Житомир, 2013. С. 255. (Особистий внесок – опрацювання літературних джерел та формулювання висновків).

7. **Можарівська І. А.** Нетрадиційні рослини в ландшафтному дизайні. Ботанічні сади: проблеми інтродукції та збереження рослинного різноманіття: матеріали Всеукраїнської наукової конференції (10–11 жовтня 2013 р.). Житомир: ЖНАЕУ, 2013. С. 123–125.

8. **Можарівська І. А.**, Романчук Л. Д. Перспективи вирощування енергетичних рослин в Україні. Новітні технології в рослинництві: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції (6 листопада 2014 р.). Біла Церква, 2014. С. 21–22. (Особистий внесок – опрацювання літературних джерел, формулювання висновків та підготовлено тези до друку).

9. Кончаківська К. В., **Можарівська І. А.** Сучасний стан радіоактивного забруднення на теренах Народицького району. Наука. Молодь. Екологія–2015 : матеріали XI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (28–29 травня 2015 р.). Житомир: ЖНАЕУ, 2015. С. 34–35. (Особистий внесок – опрацювання літературних джерел).

10. **Можарівська І. А.** Оцінка продуктивності сіди багаторічної залежно від застосування регуляторів росту. Органічне виробництво і продовольча безпека : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (23–24 квітня 2015 р.). Житомир: ЖНАЕУ, 2015. С. 399–401.

11. **Можарівська І. А.**, Борисюк Л. Б. Використання регуляторів росту в природному агровиробництві. VI з'їзд радіобіологічного товариства України (5–9 жовтня 2015 р.). Київ, 2015. С. 388–389. (Особистий внесок – відбір зразків, підготовлено тези до друку).

12. **Можарівська І. А.**, Вирощування енергетичних культур на забруднених радонуклідами територіях. Природне агровиробництво: проблеми становлення, перспективи розвитку : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (22–23 жовтня 2015 р.). Дніпропетровськ, 2015. С. 109–111.

13. **Можарівська І. А.** Кончаківська К. В. Екологічні особливості та перспективи вирощування енергетичних культур на радіоактивно забруднених територіях Полісся України. Аграрна наука, освіта, виробництво: Європейський досвід для України: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (17–18 листопада 2015 р.). Житомир: ЖНАЕУ, 2015. С. 94–95. (Особистий внесок – опрацювання літературних джерел, узагальнення експериментальних даних).

#### АНОТАЦІЯ

**Можарівська І. А.** Агроекологічна оцінка вирощування енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Полісся України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія. – Житомирський національний агроекологічний університет, Житомир, 2020.

У дисертаційній роботі викладено результати досліджень вирощування енергетичних культур в умовах радіоактивного забруднення Полісся України для виготовлення біопалива, на основі вивчення впливу удобрення на показники родючості ґрунту, якості врожаю, забруднення земель радонуклідами та важкими металами, енергетичної та економічної ефективності.

Вивчено, щільність забруднення ґрунту на дослідних ділянках, яка варіювала від 854,3 до 1005,4 кБк/м<sup>2</sup> по <sup>137</sup>Cs, а по <sup>90</sup>Sr – від 17,5 до 20,4 кБк/м<sup>2</sup>.

Встановлено, що питома активність <sup>137</sup>Cs в рослинах була нижче допустимих рівнів і варіювала від 132 до 410 Бк/кг. Концентрація <sup>90</sup>Sr у фітомасі енергетичних рослин знаходилась у межах 78–193 Бк/кг, яка нормативними документами не регулюється.

Доведено, що вміст важких металів у ґрунті та рослинах знаходились у межах гранично допустимих концентрацій та мали слабкий рівень забруднення цими елементами.

Виявлено, що для виробництва біопалива доцільніше вирощувати не традиційні, а малопоширені енергетичні культури, переважно багаторічні, які характеризуються більшою урожайністю, менш енерговитратні й можуть культивуватися на землях, непридатних для товарного виробництва.

Встановлено, що приріст зеленої маси сіди багаторічної (*Sida hermaphrodita*

*Rusby*), сільфія пронизанолистого (*Silhium perfoliatum L.*), сорго багаторічного (*Sorghum almum Parodi*), свербиги східної (*Bunias orientalis L.*) та міскантуса гігантеуса (*Miscanthus giganteus G.*), при внесенні добрив за період вегетації, був вищим у порівнянні із варіантом без добрив на 35,0, 36,7, 28,6, 25,2, 33,4 %, відповідно.

Доведено, що найвищі показники енергопродуктивності мали сіда багаторічна (*Sida hermaphrodita Rusby*) та міскантус гігантеус (*Miscanthus giganteus G.*) 4148 і 4144 ккал/кг, відповідно. Найменшим виходом енергії характеризувалася свербига східна (*Bunias orientalis L.*) – 3516 ккал/кг.

Біохімічний аналіз показав, що усі енергетичні культури мають достатній вміст поживних речовин, що дозволяє їх прирівнювати до традиційних кормових культур. Встановлено, що найбільш цінною кормовою культурою є свербига східна (*Bunias orientalis L.*), яка містить 19,43 % сирого протеїну, що на 1,4 % нижче показника конюшини; 13,03 % – сирогої клітковини, що значно нижче контролю (20,0 %) та 3,48 % – сирого жиру, що на рівні показника конюшини (3,10 %).

Запропоновано імітаційну модель економічної ефективності вирощування енергетичних культур, яка має високий рівень достовірності та адекватності.

Отже, одержані нами дані мають практичне значення для відтворення родючості радіоактивно забруднених ґрунтів, а також отримання екологічно чистої кормової та енергетичної продукції.

**Ключові слова:** енергетичні культури,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , щільність забруднення, питома активність, урожайність.

## АННОТАЦИЯ

**Можаровская И. А. Агроэкологическая оценка выращивания энергетических культур в условиях радиоактивного загрязнения Полесья Украины.** – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 03.00.16 – экология. – Житомирский национальный агроэкологический университет, Житомир, 2020.

Установлено, что уровень радиоактивного загрязнения на территориях Житомирского Полесья значительно снизился, вследствие этого встал вопрос о вероятности возврата части территории в хозяйственную отрасль, что требует соответствующего научного обоснования их реабилитации.

Большой проблемой почв Житомирского Полесья в сельскохозяйственном секторе является сохранение и восстановление плодородия дерново-подзолистых почв, которые остаются основными на радиоактивно загрязненных территориях.

В наше время приобретает актуальность вопрос выращивания редких энергетических культур как экологически чистых и экономически выгодных действий для восстановления плодородия и улучшения почвы, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Энергетические культуры могут в определенной степени решить проблему формирования бездефицитного баланса гумуса в современных условиях, поддержать общий уровень почвенного плодородия, обеспечить быстрое улучшение химических и физических свойств почв.

В диссертационной работе изложены результаты исследований Полесья Украины для изготовления биотоплива на основе изучения влияния удобрения на показатели плодородия почвы, качество урожая, загрязнения земель радионуклидами и тяжелыми металлами, энергетической и экономической эффективности.

Изучена плотность загрязнения почвы на исследовательских площадях, которая варьирует от 854,3 до 1005,4 кБк/м<sup>2</sup> по <sup>137</sup>Cs, а по <sup>90</sup>Sr – от 17,5 до 20,4 кБк/м<sup>2</sup>.

Определено, что удельная активность в растениях была ниже допустимого уровня и варьировала от 132 до 410 Бк/кг. Концентрация <sup>90</sup>Sr в фитомассе энергетических растений находилась в пределах 78–193 Бк/кг, которая нормативными документами не обуславливается.

Доказано, что наличие тяжелых металлов в почве и растениях находились в предельно допустимых концентрациях и имели слабый уровень загрязнения этими элементами.

Установлено, что для производства биотоплива целесообразно выращивать не традиционные, а мало распространённые энергетические культуры преимущественно многолетние, которые характеризуются большей урожайностью, менее энергозатратные и могут культивироваться на землях, непригодных для товарного производства.

Установлено, что прирост зеленой массы сиды многолетней, сальфия пронзеннолистного, сорго многолетнего, свербиги восточной и мискантуса гигантского на фоне внесения удобрений за период вегетации был больше в сравнении с фоном без удобрений на 35,0, 36,7, 28,6, соответственно.

Доказано, что наивысшие показатели энергоэффективности имели сида многолетняя и мискантус гигантский 4148 и 4144 ккал/кг, соответственно, наименьшим выходом энергии характеризовалась свербига восточная – 3516 ккал/кг.

Биохимический анализ показал, что все энергетические культуры имеют достаточное содержание полезных веществ, что дает возможность приравнивать их к традиционным кормовым культурам. Установлено, что наиболее ценной кормовой культурой есть свербига восточная, которая содержит 19,43 % сырого протеина, что на 1,4 % ниже показателя клевера; 13,03 % сырой клетчатки, что значительно ниже контроля (20,0 %) и 3,48 % сырого жира, что на уровне показателя клевера (3,10 %).

Предложено имитационную модель экономической эффективности выращивания энергетических культур, которая имеет высокий уровень достоверности и адекватности.

Следовательно, полученные данные имеют практическое значение для воспроизведения плодородия радиоактивно загрязненной почвы, а также получение экологически чистой кормовой и энергетической продукции.

**Ключевые слова:** энергетические культуры, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, плотность загрязнения, удельная активность, урожайность.



## ABSTRACT

**Mozharivska I. A. Agroecological assessment of cultivation of energy crops against the backdrop of radioactive contamination of Ukrainian Polissia.** – Qualification thesis manuscript copyright.

Thesis for a PhD Degree in Agriculture, qualification 03.00.16 – Ecology. – Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, 2020.

The thesis presents the results of research on cultivation of energy crops for further biofuel production against the backdrop of radioactive contamination of Ukrainian Polissia. The issue has been investigated based on the study of the impact of fertilizers on soil fertility, yield quality, energy and economic efficiency, and also soil contamination with radionuclides and heavy metals.

It has been found that the density of soil contamination in the experimental plots varied from 854,3 to 1005,4 kBq/m<sup>2</sup> for <sup>137</sup>Cs and from 17,5 to 20,4 kBq/m<sup>2</sup> for <sup>90</sup>Sr.

It has been established that the specific activity of <sup>137</sup>Cs in plants was below acceptable levels and ranged from 132 to 410 Bq/kg. The concentration of <sup>90</sup>Sr in the phytomass of energy plants ranged from 78 to 193 Bq/kg, which is not specified in any regulatory documents.

It has been proved that the content of heavy metals in soil and plants was within the maximum allowable concentrations; and a low level of contamination with these elements was observed.

It has been established that it is more expedient to grow less common energy crops for the production of biofuels, and not traditional ones. These should be mainly perennial crops, which are characterized by higher yielding capacity, lower energy consumption and can be cultivated on land that is not suitable for commercial production.

It has been found that when fertilizers were applied, the increase in green mass of *Sida hermaphrodita* Rusby, *Silvum perfoliatum* L., *Sorghum alnum* Parodi, *Bunias orientalis* L., and *Miscanthus giganteus* G., during the vegetation period was by 35,0, 36,7, 28,6, 25,2, 33,4 % higher, respectively.

It has been proved that *Sida hermaphrodita* Rusby and *Miscanthus giganteus* G., had the highest energy efficiency indicators – 4148 and 4144 kcal/kg, respectively. *Bunias orientalis* was characterized by the lowest energy yield – 3516 kcal/kg.

Biochemical analysis has shown that all energy crops have a sufficient content of nutrients, which makes it possible to equate them with traditional fodder crops. It has been found that *Bunias orientalis* is the most valuable fodder crop which contains 19,43 % of crude protein, which is by 1,4 % lower than indicator of clover; 13,03 % of crude fiber, which is much lower than the control indicator (20,0 %) and 3,48 % of crude fat, which is at the level of indicator of clover (3,10 %).

A simulation model of economic efficiency of cultivation of energy crops is proposed. The model has a high level of reliability and adequacy.

Thus, the data obtained is of practical importance for reproducing the fertility of radioactively contaminated soil, as well as obtaining environmentally friendly fodders and energy products.

**Key words:** energy crops, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, contamination density, specific activity, yielding capacity.

Підписано до друку 06.08.2020 р.  
Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman.  
Умов.-друк.арк. 0,9.  
Наклад 120 прим. Зам № 780

Свідоцтво суб'єкта про державну реєстрацію  
ДК № 3402 від 23.02.2009 р.  
Житомирський національний агроекологічний університет, 2020  
10008, м. Житомир, бульвар Старий, 7