

ПІСЛЯДІЯ ҐРУНТОВИХ ДОМІШОК НА ВРОЖАЙНІСТЬ ТА ЯКІСТЬ БІОМАСИ МІСКАНТУСУ ТА ПРУТОПОДІБНОГО ПРОСА, ВИРОЩЕНИХ НА ТЕХНОЗЕМІ В СТЕПУ УКРАЇНИ

Харитонов М.М., Лемішко С.М., Бабенко М.Г.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, 49600, м. Дніпро

kharytonov.m.m@dsau.dp.ua

Багаторічна державна політика проведення обов'язкової рекультиваци порушених гірничими розробками земель в Україні призвела до виникнення особливого типу маргінальних земель – техноземів. Виявлення найбільш ефективних ґрунтових домішок, пов'язане з реалізацією безвідходних ресурсних циклів, дає ще одну можливість підвищення біоенергетичного потенціалу маргінальних земель. Закладені на техноземі на півдні Дніпропетровської області в умовах навчально-дослідної станції рекультиваци земель ДДАЕУ мікропольові досліді із міскантусом та прутіноподібним просом включали варіанти, де муніципальний осад стічних вод вносили окремо (10 та 20 т/га) та разом із золою соняшникового лушпиння (10 т/га). Варіант із внесенням в суміш лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини (співвідношення 1:1) комплексного мінерального добрива азоту, фосфору та калію в дозі 60 кг/га та співвідношенні 1:1:1 був передбачений як традиційний для порівняння з дією зазначених нетрадиційних добрив у якості ґрунтових домішок. Встановлено, що міскантус був здатний давати стабільні врожаї за умов достатньої кількості опадів на протязі восьми років. На протязі цього часу його врожайність була більшою ніж у прутіноподібного проса на 0,5-2 т/га у варіанті з внесенням осаду стічних вод (ОСВ) в дозі 20 т/га. Відчутне зменшення врожайності міскантусу було зафіксоване на дев'ятий рік внаслідок виникнення посушливих умов в 2024 році, де додатковим чинником могла стати зміна мікроклімату в Нікопольському районі, спричинена руйнуванням дамби Каховського водосховища в червні 2023 року. Просо прутіноподібне як рослина ксерофіт продемонструвала більшу стійкість до несприятливих погодних умов на відміну від міскантусу. Стартове внесення осаду стічних вод дозі 20 т/га дозволило забезпечити вміст азоту, фосфору і калію в біомасі енергетичних культур на рівні, який трохи поступався показникам. варіанту із внесенням мінеральних добрив в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$. Зменшення вмісту важких металів в надземній біомасі міскантусу та прутіноподібного проса у порівнянні з даними отриманими нами в цьому ж експерименті після трьох років вирощування засвідчило фітостабілізаційну роль цих культур щодо накопичення цих елементів в ризомах. *Ключові слова*: міскантус, прутіноподібне просо, елементи, технозем.

Long term effect of soil amendments on the yield and biomass quality of Miscanthus and switchgrass grown on technosol in the Steppe of Ukraine. Kharytonov M., Lemishko S., Babenko M.

The long-term state policy of mandatory reclamation of lands disturbed by mining in Ukraine has led to the emergence of a special type of marginal lands – technosols. Identification of the most effective soil amendments associated with the utilization of waste-free resource cycles provides another opportunity to increase the bioenergy potential of marginal lands. Microfield experiments with miscanthus and switchgrass, established on technosols in the south of Dnipropetrovsk region in the conditions of the DSAEU land reclamation training and research station, included treatments where municipal sewage sludge was applied separately (10 and 20 t/ha) and together with sunflower husk ash (10 t/ha). The option with the introduction of a complex mineral fertilizer of nitrogen, phosphorus and potassium into a mixture of loess-like loam and red-brown clay (ratio 1:1) at a dose of 60 kg/ha and a ratio of 1:1:1 was envisaged as traditional for comparison with the effect of the indicated non-traditional fertilizers as soil amendments. It was established that miscanthus was able to give stable yields under conditions of sufficient rainfall for eight years. During this time, its yield was higher than that of switchgrass by 0.5-2 t/ha in the option with the introduction of sewage sludge (SS) at a dose of 20 t/ha. A significant decrease in the yield of miscanthus was recorded for the ninth year due to the occurrence of drought conditions in 2024, where an additional factor could be a change in the microclimate in the Nikopol district, caused by the destruction of the dam of the Kakhovka reservoir in June 2023. Switchgrass as a xerophyte plant demonstrated greater resistance to adverse weather conditions, unlike miscanthus. The initial application of sewage sludge at a dose of 20 t/ha allowed to ensure the content of nitrogen, phosphorus and potassium in the biomass of energy crops at a level that was slightly inferior to the indicators of the trial with the application of mineral fertilizers at doses of $N_{60}P_{60}K_{60}$. The decrease in the content of heavy metals in the above-ground biomass of miscanthus and switchgrass compared to the data obtained by us in the same experiment after three years of cultivation demonstrated the phytostabilizing role of these crops in terms of the accumulation of these elements in rhizomes. *Key words*: miscanthus, switchgrass, elements, technosol.

Постановка проблеми. Вирощування багаторічних трав на малородючих землях вимагає внесення поживних речовин, що за умов використання традиційних мінеральних добрив та меліорантів значно збільшить загальні витрати, а також потребуватиме велику кількість енергії для їх виробництва та транспортування. У цьому зв'язку має сенс дослідити використання того, що часто називають

«відпрацьованими поживними речовинами», які доступні на місцевому чи регіональному рівнях, для забезпечення високих урожаїв технічних або енергетичних культур, що використовують біосировину. Енергетичний потенціал міскантусу та проса прутіноподібного зараз активно вивчається, але потреба проведення багаторічних досліджень є викликом сьогодення для створення мережі міні котелень як

додаткового альтернативного заходу під час виведення внаслідок військових дій з ладу теплових електростанцій України. Відомо, що використовувати енергетичні плантації трав'янистих культур можна протягом тривалого часу – 15-20 років. Тобто цей факт свідчить про економічну доцільність створення великих плантацій трав'янистих енергокультур на маргінальних землях.

Метою роботи було вивчення тривалості післядії від стартового внесення ґрунтових домішок (золи соняшника та осаду стічних вод) на щорічну урожайність, вміст макроелементів та важких металів при вирощуванні міскантусу та прутноподібного проса на фітомеліорованій технічній суміші лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини.

Актуальність дослідження. Потреба у використанні відновлюваної енергії для зниження залежності від викопного палива стає все більш очевидною. Виробництво біопаливної сировини на маргінальних землях може підвищити енергетичну безпеку країни шляхом витіснення імпортного палива, зменшити вплив на навколишнє середовище через скорочення викидів парникових газів. Різноманітна сировина швидкозростаючих не інвазійних трав'янистих культур може бути використана для виробництва біопалива другої генерації, створення «зеленого» конвейєру забезпечення міні котелень гранулами. Основні кліматичні особливості центрального Степу України це дефіцит атмосферних опадів, достатня кількість тепла та світла в період вегетації рослин. Оскільки багаторічні трав'янисті культури, а саме міскантус та просо прутноподібне, мають C_4 тип фотосинтезу, це дозволяє їм в період вегетації використовувати меншу кількість води та поживних речовин порівняно з травами, що мають C_3 тип фотосинтезу. Встановлені насадження енергетичних трав'янистих культур мають продуктивність коренів, сумірну з біомасою пагонів, що робить їх цінним інструментом поглинання вуглецю в ґрунті.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Відомо, основними чинниками зміни культур в сівоzmінах є необхідність уникнення виснаження ґрунту вимогливими до поживних речовин рослинами та ризику виділення ризосферою рослин відповідних речовин, які запобігають можливості продовження їх вирощування в монокультурі. Існування великої кількості маргінальних земель, в тому числі рекультивованих, еродованих та виведених із сільськогосподарського виробництва, внаслідок їх забруднення в ході військових дій, є тим ресурсом який може бути використаний не тільки для вирощування багаторічних трав'янистих культур для виробництва біопаливних гранул, але й різного роду біокомпозитних матеріалів.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Не достатньо дослідженою є вивчення

тривалості впливу разового внесення деяких нетрадиційних добрив (золи лушпиння, осаду стічних вод) на хімічний склад надземної маси енергетичних трав'янистих культур у багаторічному досліді. Це стосується і порівняння стабільності отримання біопаливної сировини в умовах центрального Степу України.

Новизна. Тривале вирощування міскантусу та світчграсу в Україні переважним чином досліджувалося в умовах більш забезпечених опадами правобережної підзони Лісостепу. У роботі вперше зроблена порівняльна оцінка адаптивного потенціалу міскантусу та прутноподібного проса за рівнем урожаю, вмістом макроелементів та важких металів в надземній біомасі, зібраній після вирощування на технічній суміші лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини після їх тривалого вирощування.

Методологічне або загальнонаукове значення. Багаторічні дослідження проводили на півдні Дніпропетровської області в умовах навчально-дослідної станції Дніпровського державного аграрно-економічного університету. Рослини міскантусу та проса прутноподібного були висаджені восени 2015 року в польовому експерименті на технічній суміші, що складалась з лесоподібного суглинку та червоно-бурої глини. Застосовували такі ґрунтові домішки: зола лушпиння соняшника (10 т/га), осад стічних вод (ОСВ, 10 т/га), суміш золи лушпиння соняшника та осаду стічних вод (10 т/га), подвійна доза осаду стічних вод (20 т/га), мінеральне добриво ($N_{60}:P_{60}:K_{60}$ кг/га). Контролем слугувала ділянка без внесення будь-яких домішок. Осад міських стічних вод (ОСВ) був зібраний на очисній станції міста Покров після остаточної обробки зневоднювальною центрифугою. Зола лушпиння соняшника була зібрана після спалювання у твердопаливному котлі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед факторів які впливають на продуктивність біомаси та хімічний склад міскантусу гігантського та світчграсу або проса прутноподібного важливими є мінливість генотипу, географічне положення ареалу, кліматичні умови та технологія вирощування [1,2]. Найбільш відомими генотипами міскантусу є *M. × giganteus*, *M. sacchariflorus* and *M. Sinensis* [3]. Генотипи проса прутноподібного включають багато сортів, які відрізняються відповідно їх адаптивності до умов ландшафту [4, 5].

Середньорічна кількість опадів в лісостеповій зоні складає 600-680 мм, а в Степу не перевищує 500-550 мм. Дефіцит вологи може негативно позначитися на врожайності та якості біомаси. Для вирощування міскантусу найбільше підходять ґрунти середньої щільності. Просо прутноподібне – багатofункціональна культура, що активно використовується як протиерозійна, кормова, декоративна рослина, для фіторе mediaції та як субстрат для вирощування грибів [6-8]. Коренева система міскантусу та світчграсу може сягати глибини до 2,5-3 м. Обидві

культури здатні давати врожаї біомаси для потреб відновлювальної енергетики [9-12].

Методи дослідження. Методика досліджень передбачала визначення наступних параметрів: врожайність міскантусу та прутноподібного проса, вміст азоту, фосфору, калію та важких металів у біомасі рослин. Врожайність трав'янистих енергокультур визначалась щорічно восени ваговим методом з подальшим розрахунком у т/га. Вміст азоту, фосфору та калію визначали після мокрого кислотного розчинення біомаси рослин [13]. Вміст важких металів в отриманих витяжках вимірювали із застосуванням методу атомно-абсорбційної спектрофотометрії.

Виклад основного матеріалу. Результати визначення урожайності сухої біомаси міскантусу та прутноподібного проса за дев'ять років наведені на рисунках 1 та 2.

Починаючи з четвертого року урожайність біомаси міскантусу була більшою ніж у прутноподібного проса на 0,5-2 т/га. Між тим, на протязі трьох останніх років темпи приросту біомаси міскантусу зменшились, у той час, як приріст надземної маси у рослин прутноподібного проса зберігався на тому ж рівні. Особливо чутливою до посушливих умов реакція міскантусу була в 2024 році. Результати визначення в 2024 році вмісту макроелементів в біомасі міскантусу та прутноподібного проса наведені на рисунках 3 та 4.

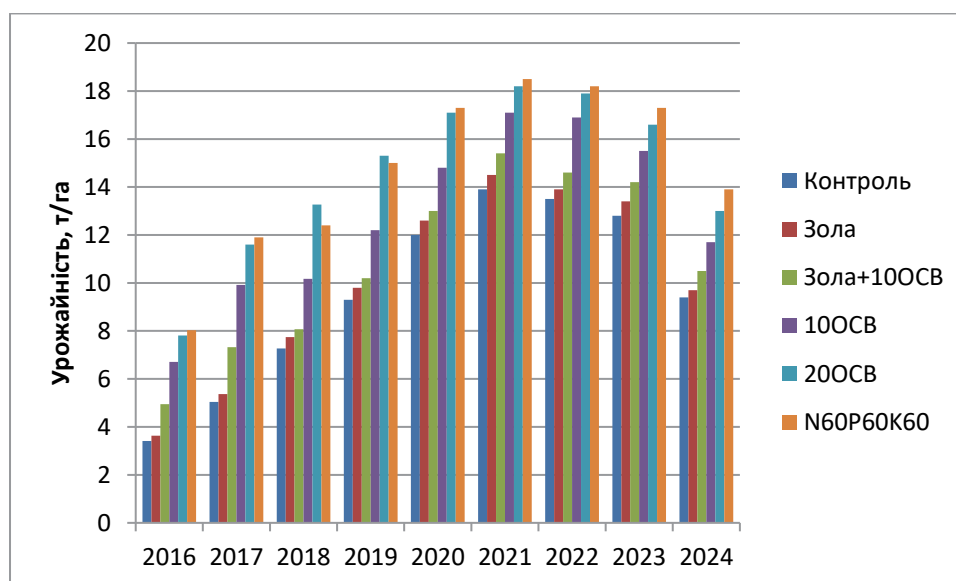


Рис. 1. Урожайність сухої біомаси міскантусу на техноземі

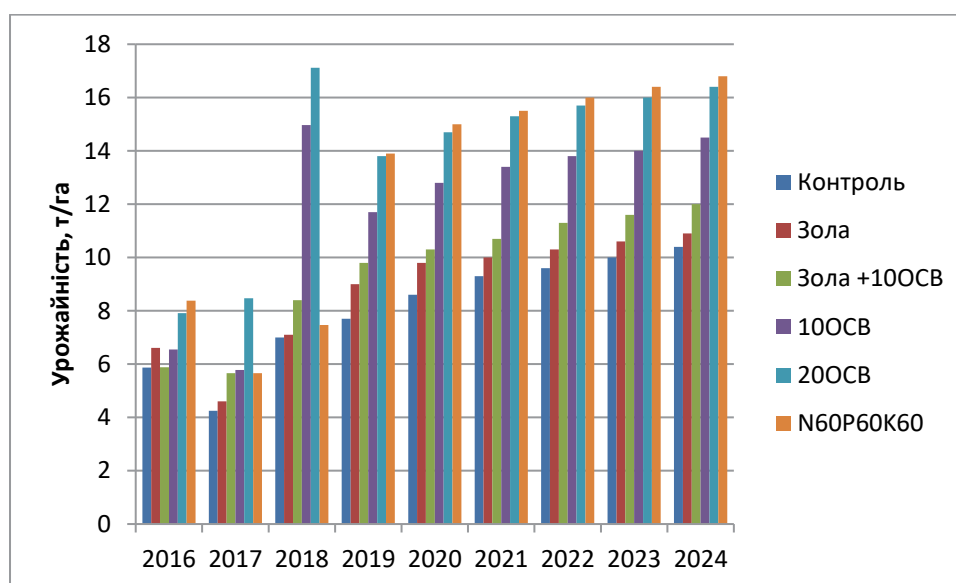


Рис. 2. Урожайність сухої біомаси свічграсу на техноземі

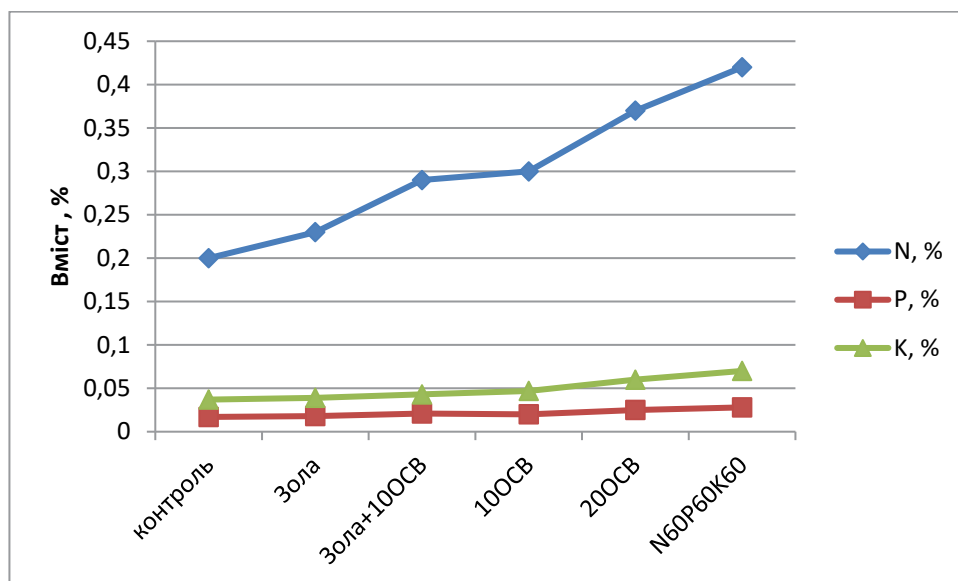


Рис. 3. Вміст макроелементів в сухій біомасі міскантусу, %

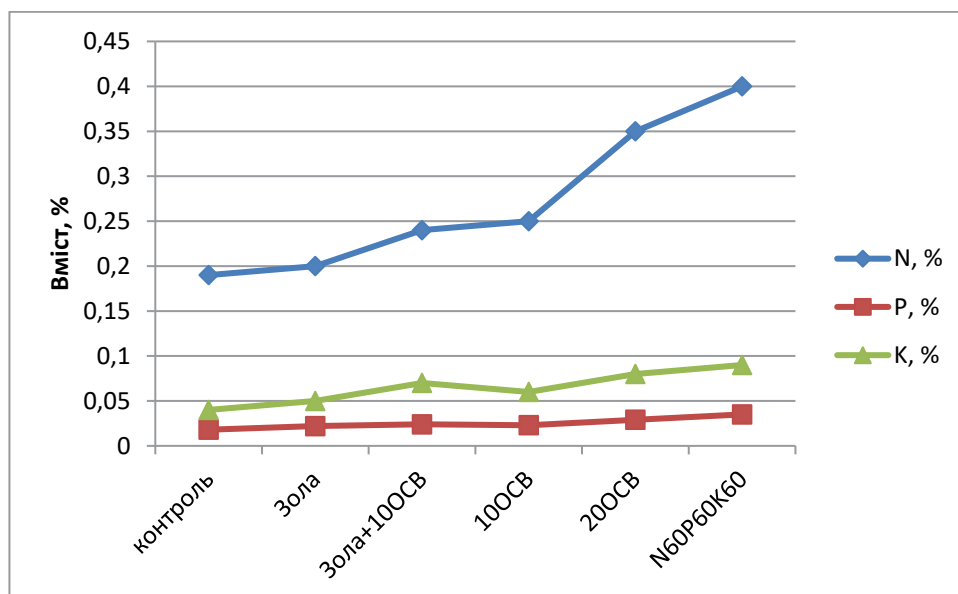


Рис. 4. Вміст макроелементів в сухій біомасі прутноподібного проса, %

Застосування осаду стічних вод у найбільшому рівні зазначилось на вмісті азоту, фосфору і калію в дозі 20 т/га. Трохи більші показники були відмічені у варіанті із стартовим внесенням мінеральних добрив в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$. Результати визначення в 2024 році вмісту важких металів в біомасі міскантусу та прутноподібного проса наведені в таблиці 1.

Вміст заліза, марганцю, цинку, міді та свинцю у біомасі міскантусу та прутноподібного проса на ділянках із застосуванням ґрунтових домішок був вище ніж у контролі у варіанті з внесенням осаду стічних вод у дозі 20 т/га. Разом з тим, зазначений рівень важких металів в надземній біомасі міскантусу та прутноподібному просі був нижче у порів-

нянні з даними отриманими нами в цьому ж експерименті після трьох років вирощування [14]. Відомо, що такі рослини, як міскантус та просо прутноподібне накопичують важкі метали в підземній частині [15, 16]. Отже вирощування таких культур, які здатні накопичувати важкі метали в ризомах на протязі їх вирощування зменшує ризик вилугування токсикантів з техногенно забрудненого ґрунту у підземні води.

Головні висновки. В умовах півдня Дніпропетровської області міскантус був здатний давати стабільні врожаї за умов достатньої кількості опадів на протязі восьми років. На протязі цього часу його врожайність була більшою ніж у прутнопо-

Таблиця 1

Вміст важких металів в біомасі міскантусу та прутіподібного проса, мг/кг

Елемент	Контроль	Зола	Зола+10ОСВ	10ОСВ	20ОСВ	N60P60K60
Міскантус						
Fe	140,3	160	185	180	195	149
Mn	52	120,1	135,3	130	140,3	70,5
Zn	13	19,3	23,4	23,5	26,4	16
Cu	5	6,3	7,8	8,2	14	6,1
Pb	2,1	2,5	2,8	2,7	3,0	2,2
Прутіподібне просо						
Fe	130	153,3	184,7	180,5	193,6	139,2
Mn	45,5	75,2	80,4	78,6	110	53,6
Zn	10,2	15,3	16,8	16,2	21,2	13,4
Cu	4	6,4	7,5	7,2	13,8	6,2
Pb	1,9	2,4	2,7	2,6	2,9	2,0

дібного проса на 0,5-2 т/га. Відчутне зменшення врожайності міскантусу було зафіксоване на дев'ятий рік внаслідок виникнення посушливих умов в 2024 році, де додатковим чинником могла стати зміна мікроклімату в Нікопольському районі, спричинена руйнуванням дамби Каховського водосховища в червні 2023 року. Просо прутіподібне як рослина ксерофіт продемонструвала більшу стійкість до несприятливих погодних умов на відміну від міскантусу. Стартове внесення осаду стічних вод дозі 20 т/га дозволило забезпечити вміст азоту, фосфору і калію в біомасі енергетичних культур на рівні, який трохи поступався показникам. варіанту із внесенням мінеральних добрив в дозах N₆₀P₆₀K₆₀. Зменшення вмісту

важких металів в надземній біомасі міскантусу та прутіподібному просі у порівнянні з даними отриманими нами в цьому ж експерименті після трьох років вирощування засвідчило фітостабілізацію роль цих культур щодо накопичення цих елементів в ризомах.

Перспективи використання результатів досліджень. У подальшому матеріали досліджень можуть бути ураховані при закладенні в підзоні центрального Степу України комерційних плантацій з вирощування міскантусу і прутіподібного проса, розрахованих на довготривалий період їх використання для забезпечення мінікотелень біопаливними гранулами.

Література

1. Karp, A., Shieid, I. Bioenergy from plants and the sustainable yield challenge. *New Phytologist*. 2008. Vol.179, № 1. P. 15-32. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02432.x>.
2. Kulik M. Impact of seeding terms and row spacing on yield of switchgrass phytomass, biofuel and energy output. *Annals of Agrarian Science*. 2016. Vol.14, № 4. P. 331-334. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2016.09.011>.
3. Hodkinson T.R., Chase T.R., Takahashi C., Lietch I.J., Bennett M.D. Renvoize S.A. The use of DNA sequencing (ITS and trnL-F), AFLP, and fluorescent in situ hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (Poaceae). *American Journal of Botany*. 2002. Vol.89. P.279–286. DOI:10.3732/ajb.89.2.279
4. Hultquist S.J., Vogel K.P., Lee D.J., Arumuganathan K., Kaeppler S. Chloroplast DNA and nuclear DNA content variations among cultivars of switchgrass, *Panicum virgatum* L. *Crop Sci*. 1996. Vol.36. P.1049–1052
5. Fike J.H., Parrish D.J., Wolf D. D., Balasko J. A., Green J.T., Rasnake M., Reynolds J.H. Long-term yield potential of switchgrass-for-biofuel systems. *Biomass and Bioenergy*. 2006. Vol.30, № 3. P.198-206. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.10.006>
6. Hartman J.C., Nippert J.B., Orozco R.A., Springer C.J. Potential ecological impacts of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) biofuel cultivation in the Central Great Plains. *Biomass and bioenergy*. 2011. Vol.35, P.3415-3421.
7. Mitchell R., Fritz J., Moore K., Moser L., Redfearn D., Weste D. Predicting forage quality in Switchgrass and Big Bluestem. *Agron. J*. 2001. Vol. 93. P.118-124. DOI: 10.2134/agronj2001.931118x
8. Smeets E.M.W., Lewandowski I.M., Faaij A.P.C. The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009. Vol.13. P.1230-1245. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.006>
9. Christian, D. G., Riche, A. B., Yates, N. E. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus* × *giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products*, 2008. Vol.28. P.320–327. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.02.009>
10. Heaton E. A., Dohleman F. G., Long S. P. Meeting us biofuel goals with less land: The potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*. 2008. Vol.14, № 9, 2000–2014. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2008.01662.x>
11. Marra, M., Keene, T., Skousen, J., Griggs, T. Switchgrass yield on reclaimed surface mines for bioenergy production. *Journal of Environmental Quality*. 2013. Vol.42, № 3. P.696–703. <https://doi.org/10.2134/jeq2012.0453>

12. Skousen, J., Keene, T., Marra, M., Gutta, B. Reclamation of mined land with switchgrass, miscanthus and arundo for biofuel production. *Journal of the American Society of Mining and Reclamation*. 2012. Vol. 2, № 1. P.177–191. <https://doi.org/10.21000/JASMR13010177>
13. Thomas R.L., Sheard R.W., Mayer J.R. Comparison of conventional and automated procedures for nitrogen, phosphorus and potassium analysis of plant material using a single digestion. *Agron. J.* 1967. Vol.59. P.240-243.
14. Kharytonov M.M., Martynova N.V., Babenko M.G., Rula I.V. Environmentally compatible utilization of reclaimed mine lands for sustainable production food and bioenergy feedstock. *Publishing House "Baltija Publishing"*. 2020. P. 625-658. <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-45-7.30>
15. Malinowska, E., Kania, P. The effects of organic waste materials on *Miscanthus × giganteus* yield and Zn and Ni content. *Sci Rep.* 2024. Vol. 14. P. 16372. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67413-y>
16. Shrestha P., Bellitürk K., Görres J.H. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soil by Switchgrass: A Comparative Study Utilizing Different Composts and Coir Fiber on Pollution Remediation, Plant Productivity, and Nutrient Leaching. *Int J Environ Res Public Health*. 2019. Vol.16, № 7. P.1261. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071261>.