

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

*Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису*

ГРИЦУЛЯК Галина Михайлівна

УДК 631.95:504.5:628.3:502.174:620.925:58

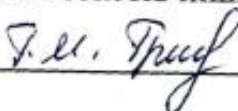
ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ
СТІЧНИХ ВОД ЯК ДОБРИВА ЗА ВИРОЩУВАННЯ
ФІТОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР**

Спеціальність 03.00.16 – екологія (сільськогосподарські науки)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 **Г. М. ГРИЦУЛЯК**

Науковий консультант **Лопушняк Василь Іванович**, доктор
сільськогосподарських наук, професор

Дніпро – 2024

АНОТАЦІЯ

Гришуляк Г. М. Еколого-агрохімічна оцінка застосування осаду стічних вод як добрива за вирощування фітоенергетичних культур. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 – екологія – Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, 2024.

Дисертаційну роботу присвячено дослідженню, яке зосереджується на екологічних засадах та підходах до застосування осаду стічних вод як добрива для вирощування фітоенергетичних культур. Проаналізовано важливі аспекти, такі як якість осаду, небажані речовини, стандарти та норми, альтернативні методи обробки стічних вод, моніторинг впливу на навколишнє середовище та збереження біорізноманіття. Враховуючи ці фактори, дослідження спрямовано на розроблення ефективних та сталих практик використання осаду стічних вод для підвищення родючості ґрунту та підтримки вирощування енергетичних культур з метою зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

В дослідницькій роботі проаналізовано вплив застосовуваного осаду стічних вод на агроекологічний стан дерново-підзолистого ґрунту; розглянуто стратегії та технології ревіталізації нафтозабруднених ґрунтів; досліджено різноманітні методи очищення ґрунту від нафтових забруднень, включаючи біологічні, фізико-хімічні та фітотехнологічні підходи.

Вперше встановлено еколого-агрохімічну ефективність застосування осаду стічних вод як добрива під фітоенергетичні культури, а також вирішено проблему екологічно безпечної їх утилізації на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття; на основі результатів комплексних ґрунтово-агрохімічних, мікробіологічних та агроекологічних досліджень визначено показники продуктивності агроценозів, економічної та енергетичної ефективності.

Удосконалено систему мінерального живлення фітоенергетичних культур з урахуванням впливу осаду стічних вод (ОСВ) та компостів, виготовлених на його основі, на еколого-агрохімічний стан і фітотоксичність дерново-

підзолистого ґрунту, характер трансформації в ньому органічної речовини, динаміку вмісту гумусових сполук та секвестрацію вуглецю, зміну фракційно-групового складу гумусу та біологічної активності ґрунту.

Набуло подальшого розвитку вчення про особливості екологічно безпечної утилізації місцевих сировинних ресурсів як джерела органічної речовини у ґрунті з метою відновлення його екологічних функцій.

Застосування ОСВ разом з мінеральними добривами значно підвищило продуктивність фітоенергетичних культур, таких як верба енергетична, сильфія пронизанолиста, світчграс, міскантус і топінамбур. Ефективність такого підходу відбивалося у збільшенні вегетативної маси на 57 – 64% порівняно з контрольними показниками.

Для верби енергетичної та сильфії пронизанолистої порядок підвищення концентрації елементів збільшувався у такому порядку: фосфор > калій > кальцій > нітроген; для світчграсу та міскантуса цей порядок змінювався так: фосфор > кальцій > калій > нітроген, а для топінамбура – фосфор > кальцій > нітроген > калій.

Найвищий вміст нітрогену у зеленій масі верби енергетичної спостерігається у випадку за внесення компосту на основі ОСВ і соломи у співвідношенні 3:1 та у дозуванні 60 т/га. Для топінамбура найвищі показники вмісту нітрогену, калію та кальцію досягалися при внесенні компосту на основі ОСВ у дозуванні 40 т/га із додаванням $N_{10}P_{14}K_{58}$.

Це дослідження підтверджує важливість інтегрованого підходу до внесення добрив, який включає використання як органічних, так і мінеральних компонентів для оптимізації живлення рослин і, як наслідок, підвищення їхньої продуктивності.

Окрім екологічної оцінки дослідження присвячено аналізу економічної та енергетичної ефективності використання осаду стічних вод як добрива для вирощування фітоенергетичних культур на дерново-підзолистих ґрунтах регіону Передкарпаття. Робота вивчає потенціал використання цього інноваційного

підходу до сільськогосподарського виробництва в контексті забезпечення відновлювальної енергії та сталого використання ресурсів.

На забруднених нафтою територіях Передкарпаття, після застосування різних доз органічних добрив (ОСВ) спостерігається зростання вмісту плюмбуму у рослинній масі міскантуса, який при дозі ОСВ 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$, досягає 4,30 мг/кг ґрунту. Також ця доза добрив призводить до збільшення концентрації плюмбуму у біомасі свічграсу до 3,97 мг/кг ґрунту.

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм кадмію коливаються у межах від 1,09 до 1,56. При цьому найвищі їх значення спостерігаються при додаванні органічних добрив (ОСВ) у кількості 40 ОСВ 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм плюмбуму при культивуванні свічграсу з дозами 20 до 40 т/га (варіанти 4 – 6) встановлено у межах від 1,02 до 1,15. Змінність коефіцієнтів концентрації кадмію залишається у діапазоні від 1,18 до 1,49. Співвідношення між вмістом кадмію та плюмбуму у зеленій масі та концентрацією цих металів у коренях свічграсу і міскантуса, а також у вивченому ґрунті демонструє тісний кореляційний зв'язок із множинним коефіцієнтом детермінації R^2 в межах 0,71 – 0,79.

Дослідження кореляційних залежностей між вмістом важких металів у ґрунті та їх накопиченням у рослинах вказує на можливість використання свічграсу та міскантуса як індикаторів забруднення довкілля нафтопродуктами. Порівняння коефіцієнтів біологічного поглинання плюмбуму показує, що для міскантуса вони менші на 0,5 порівняно із свічграсом, але коефіцієнти біологічного накопичення плюмбуму в міскантусі вищі на 0,14. Втім, коефіцієнт біологічного поглинання кадмію виявляється вищим для свічграсу, становлячи 336,67, тоді як для міскантуса він складає 288,33 (варіант 7).

Відповідно до класифікації важких металів, кадмій та плюмбум віднесені до першої групи ступені ризику, який ці метали становлять для екології, оскільки вони проявляють високу здатність до біологічного поглинання та є елементами активного накопичення. Ця особливість фітоенергетичних культур, таких як свічграс та міскантус, є важливою для підтримки екологічної стійкості

грунтового покриття, що робить їх ефективними засобами для рекультивації та відновлення нафтозабруднених територій.

Оцінка енергетичної ефективності вирощування фітоенергетичних культур свідчать про найвищий економічний ефект при використанні компостів на основі органічних відходів та мінеральних добрив $N_{10}P_{14}K_{58}$ у дозі 40 т/га. Вихід валової енергії з одиниці площі при вирощуванні енергетичної верби є досить великим при повторному внесенні свіжого органічного матеріалу, однак, з огляду на екологічну небезпеку збільшення вмісту важких металів у ґрунті понад гранично допустимі концентрації, доцільніше застосовувати компости на основі органічних відходів та соломи (в пропорції 3:1) у дозі 20–40 т/га. Вихід валової енергії з одиниці площі у разі вирощування сільфії, міскантуса та світчграсу є найвищим при внесенні свіжого органічного матеріалу в нормі 40 т/га та компостів на його основі з соломкою (в пропорції 3:1) у дозі 30 т/га. З точки зору енергетичної ефективності вирощування фітоенергетичних культур, внесення органічного матеріалу у дозі 40 т/га, а також компосту на основі органічних відходів і соломи (в пропорції 3:1) у дозі 30 т/га, забезпечує найкращі показники, зокрема коефіцієнти енергетичної ефективності на рівні 2,5 – 2,7 для топінамбура, 2,8 – 2,9 для енергетичної верби у другому циклі використання, а також інших енергетичних культур.

Для поліпшення фізико-хімічних властивостей дерново-підзолистого ґрунту рекомендується використовувати органічне добриво у дозі 60 т/га та компости на основі органічних відходів та тирси (у співвідношенні 3:1) також у дозі 60 т/га.

Для відновлення нафтозабруднених ґрунтів рекомендується використовувати органічне добриво у нормі 40 т/га та комплексне мінеральне добриво з вмістом $N_{10}P_{14}K_{58}$. Це сприятиме підвищенню основних агрохімічних показників, зменшенню фітотоксичного впливу, а також зменшенню забруднення ґрунтів політантами. Рекомендовано вирощувати фітоенергетичні культури, такі як верба енергетична та міскантус. Для збільшення продуктивності енергетичних культур на 30 – 40% рекомендується вносити

компости на основі органічних відходів та соломи (у співвідношенні 3:1) у дозі 30 т/га, а також додавати мінеральне добриво з вмістом $N_{30}K_{55}$. Також доцільно вносити свіже органічне добриво у дозі 40 т/га для світчграсу, міскантуса, сильфії пронизанолистої та топінамбура.

Для збільшення об'єму біомаси енергетичної верби на 60% порівняно з контрольним рекомендується вносити свіже органічне добриво (ОСВ) та компости на основі соломи та тирси (у співвідношенні 3:1) у нормі 60 т/га.

Ключові слова: осад стічних вод, компости, фітоенергетичні культури, дерново-підзолистий ґрунт, екологічний стан ґрунту, ревіталізація, важкі метали, нафтозабруднений ґрунт.

SUMMARY

Hrytsulyak H. M. Ecological and agrochemical assessment of the use of sewage sludge as a fertiliser for the cultivation of phytoenergy crops. – Qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Agricultural Sciences in the specialty 03.00.16 – Ecology – Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, 2024.

The dissertation work is devoted to research that focusses on environmental principles and approaches to the use of sewage sludge as a fertiliser for growing energy crops. Important aspects such as sludge quality, undesirable substances, standards and norms, alternative methods of wastewater treatment, environmental impact monitoring and biodiversity conservation have been analysed. Taking into account these factors, the study is aimed at developing effective and sustainable practises for the use of sewage sludge to increase soil fertility and support the cultivation of energy crops, in order to reduce the negative impact on the environment.

The research work analysed the effect of the use of sewage sludge on the agroecological state of sod-podzolic soil; strategies and technologies for the revitalisation of oil-contaminated soils were considered; various methods of soil cleaning from oil pollution, including biological, physicochemical and phytotechnological approaches, were studied.

For the first time, the ecological and agrochemical efficiency of the use of sewage sludge as a fertiliser for energy crops was established, and the problem of environmentally safe utilisation on sod-podzoly soils of Precarpathia was resolved on the basis of the results of complex soil-agrochemical, microbiological and agroecological studies, indicators of productivity of agrocenoses, economic and energy efficiency were determined;

The system of mineral nutrition of phytoenergy crops has been improved, taking into account the effect of sewage sludge and composts made on its basis on the ecological and agrochemical state and phytotoxicity of sod-podzolic soil, the nature of transformation of organic matter in it, the dynamics of the content of humus compounds and carbon sequestration, change in fractional and group composition of humus and biological activity of the soil;

The doctrine of the features of ecologically safe utilisation of local raw materials as a source of organic matter in the soil in order to restore its environmental functions has been further developed.

The use of sewage sludge together with mineral fertilisers has significantly increased the productivity of energy crops such as *Salix Viminalis L.*, *Miscanthus X giganteus*, *Silphium perfoliatum L.*, *Panicum Virgatum L.*, *Helianthus tuberosus L.*

The effectiveness of this approach was expressed in an increase in vegetative mass by 57 – 64% compared to benchmarks.

For energy willow and cup-plant, the order of increasing the concentration of elements changed phosphorus > potassium > calcium > nitrogen. For switchgrass and silvergrass, this order changes to phosphorus > calcium > potassium > nitrogen, and for Jerusalem artichoke to phosphorus > calcium > nitrogen > potassium.

The highest nitrogen content in the green mass of energy willow is observed for the introduction of compost based on sewage sludge and straw in a ratio of 3:1 at a dose of 60 t/ha. For artichoke, the highest levels of nitrogen, potassium and calcium were achieved when compost based on sewage sludge was applied at a dose of 40 t/ha with the addition of $N_{10}P_{14}K_{58}$.

This study highlights the importance of an integrated approach to fertilisation, which includes the use of both organic and mineral components to optimise plant nutrition and, as a result, increase their productivity.

The study is devoted to the analysis of the economic and energy efficiency of the use of sewage sludge as a fertiliser for the cultivation of energy crops on sod-podzolic soils of the Precarpathian region. The work is exploring the potential of using this innovative approach to agricultural production in the context of providing renewable energy and sustainable use of resources.

In the oil-contaminated areas of Precarpathia, after the use of various doses of organic fertilisers (sewage sludge), there is an increase in the lead content in the plant mass of miscanthus at a dose of sewage sludge 40 t/ha and $N_{10}P_{14}K_{58}$, reaching 4.30 mg/kg of soil. Also, this dose of fertilisers leads to an increase in the concentration of lead in the biomass of switchgrass to 3.97 mg/kg of soil.

The concentration coefficients of gross forms of cadmium range from 1.09 to 1.56, with the highest values observed when adding organic fertilisers (sewage sludge) in the amount of 40 sewage sludge 40 t/ha and $N_{10}P_{14}K_{58}$. The concentration coefficients of gross lead forms in the cultivation of switchgrass with doses of 20 to 40 t/ha (variants 4 – 6) have indicators from 1.02 to 1.15. The variability of cadmium concentration coefficients remains in the range from 1.18 to 1.49. The relationship between the content of cadmium and lead in the green mass and the concentration of these metals in the roots of switchgrass and cup-plant, as well as in the studied soil, shows a close correlation, with a multiple determination coefficient of R^2 in the range of 0.71 – 0.79.

The study of correlation dependencies between the content of heavy metals in the soil and their accumulation in plants indicates the possibility of using switchgrass and cup-plant as indicators of environmental pollution by petroleum products. Comparison of the coefficients of biological absorption of the plumbum shows that for cup-plant they are 0.5 less compared to the svizhgras, but the coefficients of biological accumulation of the plumbum in cup-plant are higher by 0.14. However, the coefficient

of biological absorption of cadmium turns out to be higher for switchgrass, amounting to 336.67, while for cup-plant it is 288.33 (variant 7).

According to the classification of heavy metals, cadmium and plumbum are classified in the first group because they exhibit a high capacity for biological absorption and are elements of active accumulation. This feature of energy crops, such as switchgrass and cup-plant, is important to maintain the environmental sustainability of the soil cover, making them effective means for reclamation and restoration of oil-contaminated areas.

Economic calculations and assessment of the energy efficiency of growing phytoenergy crops indicate the most favourable economic result when using composts based on organic waste and mineral fertilisers $N_{10}P_{14}K_{58}$ in the norm of 40 t/ha. The output of gross energy from a unit area in the cultivation of energy willow is quite large when fresh organic material is re-injected, but given the environmental danger of increasing the content of heavy metals in the soil above the maximum permissible concentrations, it is more expedient to use composts based on organic waste and straw (in a ratio of 3:1) at a dose of 20–40 t/ha. The output of gross energy from a unit of area during the cultivation of silvergrass, cup-plant and switchgrass is the highest when introducing fresh organic material at a norm of 40 t/ha and composts based on it with straw (in a ratio of 3:1) in the norm of 30 t/ha. In terms of energy efficiency of growing phytoenergy crops, the introduction of organic material in the norm of 40 tons per hectare, as well as compost based on organic waste and straw (in a ratio of 3:1) in the norm of 30 t/ha, provides the best indicators, in particular energy efficiency coefficients at the level of 2.5–2.7 for Jerusalem artichoke, 2.8 – 2.9 for energy willow in the second cycle of use, as well as other energy crops.

To improve the physicochemical properties of sod-podzolic soil, it is recommended to use organic fertiliser in the norm of 60 t/ha and compost based on organic waste and sawdust (in a ratio of 3:1) also in the norm of 60 tons per hectare.

To restore oil-contaminated soils, it is recommended to use organic fertiliser at the rate of 40 t/ha and complex mineral fertiliser with the content of $N_{10}P_{14}K_{58}$. This will lead to an increase in the main agrochemical indicators, a decrease in phytotoxic

exposure, as well as a decrease in soil pollution by pollutants. It is recommended to grow energy crops such as energy willow and cup-plant. To increase the productivity of energy crops by 30 – 40%, it is recommended to apply composts based on organic waste and straw (in a ratio of 3:1) in the norm of 30 t/ha, as well as add mineral fertiliser with the content of N₃₀K₅₅. It is also advisable to apply fresh organic fertiliser at a rate of 40 t/ha for switchgrass, cup-plant, silvergrass and Jerusalem artichoke.

To increase the biomass of energy willow by 60% compared to control, it is recommended to apply fresh organic fertiliser (SS) and composts based on straw and sawdust (in a ratio of 3:1) in a norm of 60 t/ha.

Keywords: sewage sludge, composts, phytoenergy crops, sod-podzolic soil, ecological condition of the soil, revitalization, heavy metals, oil-contaminated soil.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

1. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** Change in the humus state of aluvisol due to implementation of sediment of sewage sludge under the energy willow. *Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and solutions* : Collective monograph. Boston, 2023. P. 278 – 297. Режим доступу DOI: 10.46299/isg.2023.mono.tech.2.5.1 (Особистий внесок – 70%, виконання експериментальних досліджень, статистичний аналіз результатів, підготовка до видання публікації).

2. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** Influence of sediment of wastewater on the change of agro-ecological indicators of a sod-pedosal soil under energy willow. Prospective and priority directions of scientific research in technical and agricultural sciences. Collective monograph. Boston, 2023. P. 159 – 190. Режим доступу DOI:10.46299/ISG.2023.mono.tech.3.3.1 (Особистий внесок – 60%, виконання експериментальних досліджень, підготовка до публікації).

Статті в наукових фахових виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science:

3. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** The models of the heavy metal accumulation of the multiple grain energy cultures for wastewater deposition on oil-polluted degraded soils. *Ecological engineering and environmental technology*. 2021. Vol. 22 (4). P. 9 – 17. Режим доступу DOI: 10.12912/27197050/137873 (Scopus). (Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень та їх статистичний аналіз).

4. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Bykin A., Bordyuzha N., Semenko L., Polutrenko M., Kotsyubynska Yu. Prognostic models of panicum virgatum l. using artificial neural networks. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22 (11). P. 62 – 71. Режим доступу DOI: 10.12911/22998993/142958 (Scopus). (Особистий внесок – 50%, аналіз результатів, формування висновків).

5. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** The Intensity of the heavy metals by topinambur in the conditions of the oil-polluted areas. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 52 (6). P. 1334 – 1345. Режим доступу DOI: 10.36103/ijas.v52i6.1473. (Scopus). (Особистий внесок – 50%, виконання експериментальних досліджень, їх аналіз та формування висновків).

6. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Kotsyubynsky A., Lopushniak G. Forecasting the Productivity of the Agrophytocenoses of the Miscanthus Giganteus for the Fertilization Based on the Wastewater Sedimentation. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2021. Vol. 22 (3). P. 11 – 19. Режим доступу DOI: 10.12912/27197050/134867. (Scopus). (Особистий внесок – 40%, аналіз результатів та їх статистична обробка).

7. Lopushnyak V., **Hrytsuliak H.**, Gamayunova V., Kozan N., Zakharchenko E., Voloshin Yu., Lopushniak H., Polutrenko M., Kotsyubynska Yu. Dynamics of macro elements content in eutric podzoluvisols for separation of wastewater under jerusalem artichokes. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23 (4). P. 33 – 42. Режим доступу DOI: 10.12911/22998993/146268. (Scopus). (Особистий внесок – 40%, аналіз літературних джерел та формування висновків).

8. **Hrytsuliak H.**, Lopushniak V., Polutrenko M., Poberezhna L., Gamayunova V., Pikovska O, Tonkha O, Jakubowski T, Kotsyubynska Y. Productivity model of

herbal bioenergy cultures depending on biometric indicators of overhead mass. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2022. Vol. 23 (2). P. 162 – 172 Режим доступу DOI: 10.12912/27197050/145731 (Scopus). (Особистий внесок – 40%, аналіз джерел літератури та статистична обробка результатів досліджень).

9. Lopushnyak V., **Hrytsuliak H.**, Polutrenko M., Plevinskis P., Tonkha O., Pikovska O., Bykina N., Karabach Y. Accumulation of heavy metals in silphium perfoliatum l. for the cultivation of oil-contaminated soils. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2022. Vol. 23 (3). P. 30 – 39. Режим доступу DOI: 10.12912/ 27197050/147145 (Scopus). (Особистий внесок – 30%, виконання експериментальних досліджень, підготовка до публікації матеріалу).

10. Lopushnyak V., **Hrytsuliak H.**, Kozova I., Jakubowski T., Kotsyubynska Yu., Polutrenko M., Kozan N. Biological absorption of chemical elements in topinambur plants by separation of wastewater in podzol soil. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23 (9). P. 18 – 24. Режим доступу DOI: 10.12911/22998993/150648. (Scopus). (Особистий внесок – 20%, аналіз результатів досліджень).

11. Lopushnyak V., **Hrytsulyak H.**, Voloshyn Yu., Lopushniak H., Baran B. Bioaccumulation and translocation of heavy metals in tropical plants during sewage sediment in podzols soils. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2022. Vol. 23 (6). P. 178 – 187. Режим доступу DOI: 10.12912/27197050/152919 (Scopus). (Особистий внесок – 20%, отримання експериментальних даних, статистична обробка результатів).

12. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Polutrenko M., Kotsyubynska Y., Baran B. Model of biomass productivity under the influence of change in the phytotoxicity of podzol soil due to reintroduction of sewage sludge under energy willow. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23 (12). P. 217 – 226. Режим доступу DOI: 10.12911/22998993/154773 (Scopus). (Особистий внесок – 50%, виконання експериментальних досліджень, аналіз літературних джерел).

13. Chelyadyn L., Marushchak U., Novosad P., **Hrytsuliak G.**, Ribun V., Chelyadyn V. Transformation of technogenic waste based on water treatment sludge into granulated fertilizer. *Questions of chemistry and chemical technology*. 2022. Vol. 4. P. 92 – 101. Режим доступу DOI: 10.32434/0321-4095-2022-143-4-92-101 (Scopus). *(Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень, аналіз літературних джерел).*

14. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Jakubowski T., Voloshyn Yu., Karavanovych K., Kachala T. Indices of soil and plant cover pollution due to re-introduction of sediment water under the energy willow on aluvisol of Ukraine. *Ecological Engineering and Environmental Technology*. 2023. Vol. 24 (3). P. 201 – 211. Режим доступу DOI: 10.12912/27197050/160095 (Scopus). *(Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень та аналіз результатів).*

15. Lopushnyak V., **Hrytsulyak H.**, Lopushniak H., Voloshyn Y. Integral assessment of pollution of sod-podzolic soils by application of sewage sludge under miscanthus x giganteus. *International Journal of Environmental Studies*. 2023. Vol. 80 (2). P. 476 – 487. Режим доступу DOI: 10.1080/00207233.2022.2147725 (Scopus). *(Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень, статистичний аналіз результатів).*

16. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Voloshin Y., Lopushniak H., Bogoslavets V., Kalyn T., Kotsyubynsky A., Chupa V. Statistical analysis of the productivity of phytocoenoses of energy cultures due to implementation of wastewater sediment on aluvisols of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24 (9). P. 192 – 201. Режим доступу DOI: 10.12911/22998993/169161 (Scopus). *(Особистий внесок – 40%, аналіз результатів та написання статті).*

17. Lopushniak V., **Hrytsulyak H.**, Gumentyk M., Kharytonov M., Barchak B., Jakubowski T. (2021) The formation of the leaf surface area and biomass of the miscanthus giganteus plants depending on the sewage sludge rate. *Second International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2021) E3S Web of Conferences* 280, 06009. P. 1

– 7. Режим доступу DOI: 10.1051/e3sconf/202128006009 (Scopus). *(Особистий внесок – 30%, виконання експериментальних досліджень).*

18. Lopushniak V., **Hrytsulyak H.** Translocation of heavy metals (Pb, Cd, Ni, Co) in energy willow plants growing on oil-contaminated subsoil soils. *XVI International Scientific Conference «Monitoring of geological processes and ecological condition of the environment»* 15 – 18 November 2022. Kyiv, 2022. P. 1 – 5.

5. Режим доступу DOI: 10.3997/2214-4609.2022580128 (Scopus). *(Особистий внесок – 40 %, виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів, аналіз літературних джерел).*

19. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Лопушняк Г., Тонха О., Меньшов О., Піковська О. (2021) Вміст важких металів у ґрунтах нафтозабруднених територій Передкарпаття. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сер. Геологія.* 2021. Вип. 2 (93). С. 83 – 88 (Scopus). *(Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень та аналіз результатів).*

Статті в іноземних виданнях:

20. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Lopushniak G. Statistical Analysis of the experimental data on the content of heavymetals in sod-podzolic soils, depending on the introduction of sewage sludge under energy willow. *International Journal of Advance and Innovative Research.* 2021. Vol. 8 (4). P. 346 – 352. *(Особистий внесок – 50%, виконання експериментальних досліджень).*

21. **Hrytsuliak H.**, Lopushniak V. Influence Fertilizer sewadge sludg on the size harvest topinambour. *Acta Carpathica. Rzeszow.* 2018. Vol. 23 (12). P. 217 – 226. Режим доступу DOI: 10.12911/22998993/154773. *(Особистий внесок – 70%, виконання експериментальних досліджень та їх статистичний аналіз).*

Статті у наукових фахових виданнях України:

22. Лопушняк В., Якубовський Т., **Грицуляк Г.** Продуктивність топінамбура залежно від норми застосування осаду стічних вод на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Сер. Агрономія.* 2018. Вип. 22 (2). С. 119 – 123. *(Особистий внесок*

– 50%, виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів, формування висновків).

23. **Грицуляк Г.** Екологічний стан дерново-підзолистих ґрунтів Передкарпаття за внесення осаду стічних вод під вербу енергетичну. *Збалансоване природокористування*. 2019. №1. С. 66 – 75. Режим доступу DOI: 10.33730/2310-4678.1.2019.170592. (Особистий внесок – 60%, виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів, аналіз літературних джерел, підготовка матеріалів та написання статті).

24. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Якубовські Т., Барчак Б., Сав'юк Р. Формування продуктивності верби енергетичної за повторного внесення осаду стічних вод на дерево-підзолистому ґрунті. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. № 2. С. 63 – 70. (Особистий внесок – 60%, виконання та аналіз результатів експериментальних досліджень, аналіз літературних джерел, підготовка матеріалів та написання статті).

25. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Вплив осаду стічних вод на агрохімічні властивості та продуктивність дерново-підзолистого ґрунту. *Вісник ХНАУ. Сер. "Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів*. 2020 № 1. С. 201 – 213. (Особистий внесок – 70%, аналіз літературних джерел та виконання експериментальних досліджень, статистичний аналіз результатів).

26. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Формування продуктивності сільфії пронизанолистої (*Silphinium Perfliatum* L.) за різних норм внесення осаду стічних вод на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 3. С. 100 – 108. (Особистий внесок – 60%, виконання експериментальних досліджень та їх аналіз, формування висновків).

27. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Джус Г. Біоенергетична оцінка внесення осаду стічних вод під сільфію пронизанолисту (*Silphium perfoliatum* L.) на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття. *Агроекологічний журнал. Сер. Агрономія*. 2021. № 1. С. 126 – 134. Режим доступу DOI: 10.33730/2077-

4893.1.2021.227249. *(Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів).*

28. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Зміна основних агрохімічних показників дерново-підзолистого ґрунту за внесення осаду стічних вод під топінамбур. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2021. №12 (3). С. 66 – 75. *(Особистий внесок – 60%, виконання експериментальних досліджень).*

Публікації в інших наукових виданнях

29. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Раціональний спосіб рекультивації порушених і техногенних ґрунтів. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву : каталог інноваційних розробок / за заг. Ред. В. В. Снітинського, І. Б. Яціва. Вип. 18. Львів: Львівський національний аграрний університет. 2018. С. 6. (Особистий внесок – 50%, виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів, редакційна підготовка публікації).*

30. Лопушняк В., Якубовські Т., **Грицуляк Г.**, Шпик Н. Екологічна модель рекультивації деградованих дерново-підзолистих ґрунтів Передкарпаття. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву : каталог інноваційних розробок / за заг. Ред. В. В. Снітинського, І. Б. Яціва. Вип. 18. Львів : Львівський національний аграрний університет. 2018. С. 7. (Особистий внесок – 40%, аналіз літературних джерел, підготовка матеріалу до видання згідно вимог).*

31. Лопушняк В., Барчак Б., Якубовський Т., **Грицуляк Г.** Продуктивність топінамбура на опідзолених деградованих ґрунтах. *«Біоенергетика Bioenergy»*. 1 (15). 2020. С. 7 – 11. *(Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів).*

32. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Інтенсивність засвоєння важких металів рослинами верби енергетичної на нафтозабруднених територіях. *Science, research, development: Monografia po konferencyj na Poznan, Poland, 2020. С. 27 – 29. (Особистий внесок – 60%, аналіз літературних джерел, виконання експериментальних досліджень та їх аналіз, підготовка матеріалів до видання).*

Матеріали конференцій і тези наукових доповідей:

33. **Грицуляк Г.** Система біотестування дерново-підзолистого ґрунту забрудненого важкими металами під впливом внесення удобрення на основі осаду стічних вод. [електронний ресурс]. *«Актуальні проблеми ґрунтознавства, землеробства та агрохімії»* : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої Міжнародному Дню агрохіміка Львів, 2017. С. 347 – 353. Режим доступу: <http://lnau.lviv.ua/lnau/index.php/uk/konf.html>.

34. **Грицуляк Г.** Динаміка врожаю бульб топінамбура залежно від норми внесення осаду стічних вод на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття : збірник матеріалів Всеукраїнського науково-практичного круглого столу для молодих вчених. Харків, 2017. С. 42 – 45.

35. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Транслокація важких металів у ланці ґрунт-верба енергетична як чинник екологічної безпеки біоенергетичних систем *«Актуальні наукові дослідження в сучасному світі»* : збірник матеріалів Міжнародної XLVI наукової конференції. Переяслав-Хмельницький, 2019. С. 108 – 115 (*Особистий внесок – 60%, виконання експериментальних досліджень, підготовка матеріалів та написання тез*).

36. **Грицуляк Г.**, Лопушняк В. Моніторинг екологічного стану ґрунтового покриву за внесення осаду стічних вод під енергетичні культури. *«Актуальні проблеми сучасної хімії»* : збірник матеріалів III Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Миколаїв, 2019. С. 132 – 136. (*Особистий внесок – 60%, аналіз результатів та літературних джерел*).

37. **Грицуляк Г.** Вплив внесення удобрення на основі осаду стічних вод під топінамбур на еколого-токсичний стан дерново-підзолистого ґрунту. *«Сучасний рух науки»* : збірник матеріалів VIII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції Дніпро. Т.1. 2019. С. 468 – 471. (*Особистий внесок – 100 %, виконання експериментальних досліджень; їх аналіз, формування висновків*).

38. Полутренко М., **Грицуляк Г.**, Коцюбинський А., Сав'юк Р. Технологія перероблення вегетативної маси рослини сильфії пронизанолистої. *«Сталий*

розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» : збірник матеріалів VI міжнародного конгресу Львів, 2020. С. 206. (Особистий внесок – 50 %, аналіз літературних джерел та висновків).

39. Lopushniak V., **Hritsuliak H.** Environmental soil conditions for entering sewage sludge under energy crops. *International Trends in Science and Technology : Proceedings of the XXII International Scientific and Practical Conference*. Warsaw, 2020. № 1. P. 57 – 60. (Особистий внесок – 60 %, виконання експериментальних досліджень, підготовка матеріалів та написання тез).

40. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Інтенсивність засвоєння важких металів рослинами верби енергетичної на нафтозабруднених територіях *Science, research, development : Monografia poconferencyjna*, Poznan, 2020. №26. P. 29 – 34. (Особистий внесок – 60%, аналіз результатів досліджень і написання тез).

41. Лопушняк В., Полутренко М., **Грицуляк Г.**, Калин Т., Коцюбинський А. Нагромадження кадмію та плюмбуму в енергетичних культурах на нафтозабруднених деградованих ґрунтах. *Actual trends of modern scientific research : Abstracts of the 11th International scientific and practical conference*. MDPC Publishing. Munich, 2021. P. 14 – 21. (Особистий внесок – 50%, виконання експериментальних досліджень, обробка статистичних даних та написання тез).

42. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** Ecological condition of the sod-podzolic soil for the introduction of the sewage sludge under the energy willow. *Science and education: problems, prospects and innovations : Abstracts of V international scientific and practical conference*. Kyoto, 2021. P. 4 – 6. (Особистий внесок – 70 %, формування висновків, підготовка матеріалів та написання тез).

43. Polutrenko M., **Hrytsuliak H.**, Lopushniak V., Kotsyubynsky A., Savyuk R. Method of processing of terrestrial part of plants. *European scientific discussions : Abstracts of V international scientific and practical conference*. Rome, 2021. P. 1 – 3. (Особистий внесок – 50%, аналіз літературних джерел та написання тез).

44. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** Agrochemical properties of sod-podzolic soil for fertilizer application during the cultivation of cup plant silphium perfoliatum. *Achievements and prospects of modern scientific research* : Abstracts of III International scientific and practical conference. Buenos Aires, 2021. P. 7 – 9. (Особистий внесок – 60%, виконання експериментальних досліджень та статистична обробка результатів).

45. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Lopushniak G. Statistical analysis of the experimental data on the content of heavy metals in sod-podzolic soils, depending on the introduction of sewage sludge under energy willow. *Indian academicians and researchers association* : International e-Conference on Research and Development in Science, Technology and management in the Current Era. India, 2021. P. 33 – 41 (Особистий внесок – 60%, аналіз результатів досліджень, підготовка матеріалів та написання тез).

46. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Chupa V., Fedorko N. Overview of the Current. «Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів» : збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2021. С. 79 – 89. (Особистий внесок – 50%, виконання експериментальних досліджень та підготовка тез).

47. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Fedorko N., Jakubowski T., Barchak B. Pollution of Water resources of Ivano-Frankyivsk Areas of Heavy Metal Salts. «Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів»: збірник матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2021. С. 101 – 114. (Особистий внесок – 30%, виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів та написання тез).

48. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Коцюбинський А. Вміст важких металів у енергетичних культурах за внесення осаду стічних вод на нафтозабруднених деградованих ґрунтах. «Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів» : збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2021. С. 40 – 48. (Особистий внесок – 50%, аналіз літературних джерел та висновків, підготовка матеріалів та написання тез).

49. Lopushnyak V., Polutrenko M., **Hrytsulyak H.**, Voloshin Y. The Content of Heavy Metals in Plants During Cultivation on Oil-Contaminated Soils. *World science priorities : The I International Scientific and Practical Conference*. Viena. 2022. P. 5 – 11. *(Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень та написання тез).*

50. Polutrenko M., **Hrytsulyak H.**, Chupa K. Disposal and Recovery of Used Transformer Oils. *Promising ways of solving scientific problems : The IX International Scientific and Practical Conference*. Belgium. Brussels, 2022. P. 199 – 201. *(Особистий внесок – 70%, аналіз результатів, написання висновків, підготовка тез).*

51. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Міграція важких металів в системі «грунт – рослина» на нафтозабруднених територіях. «*Сталий розвиток : захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*» : зб. наукових праць VI міжнародного молодіжного конгресу. Львів, 2022. С. 73. *(Особистий внесок – 60%, аналіз літературних джерел та формування висновків).*

52. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Baran B. Prospects of Using Bioenergy Cultures for Phytoremediation of Turn-Podzole Oil-Polluted Soils. *Science, trends and perspectives of developmen : Abstracts of VII International Scientific and Practical Conference*. Budapest, 2022. P. 14 – 21. *(Особистий внесок – 50%, аналіз літературних джерел та написання тез).*

53. Lopushnyak V., **Hrytsulyak H.**, Polutrenko M., Baran B., Fedorko N., Felyk K. Comprehensive Assessment of Pollution of Sod-Podzolic Soils. *Scientific research in the modern world : Proceedings of VI International Scientific and Practical Conference*. Toronto, 2023. P. 12 – 26. *(Особистий внесок – 50%, виконання експериментальних досліджень, аналіз літературних джерел та написання тез).*

54. Chupa V., Chupa K., **Hrytsulyak H.**, Karavanovych K. Study of the calorie value of solid domestic waste mixtures. «*The research process in science and the implementation of results*» : *Proceedings of the XVII International Scientific and*

Practical Conference. Maribor, 2023. P. 95 – 102. (*Особистий внесок – 50%, формування результатів дослідження, підготовка та написання тез*).

55. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Федорко Н., Караванович Х. Вплив нафтопродуктів на ґрунти Івано-Франківської області. *Methodological and attitudinal principles of classical science* : Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference. Stockholm. 2023. P. 39 – 42. (*Особистий внесок – 40%, виконання експериментальних досліджень, аналіз результатів*).

56. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Фелик К. Забруднення Cd, Pb та Co підзолистих ґрунтів. *Innovative ways of learning development* : Abstracts of X International Scientific and Practical Conference, Varna, 2023. P. 262 – 271. (*Особистий внесок – 40%, аналіз результатів досліджень та написання тез*).

57. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Polutrenko M., Baran B., Fedorko N. Contamination of Underground Soils by the Contribution of Sewage Sludge Under Miscanthus Giganteus. «*Current questions of modern science*» : збірник наукових праць III Міжнародно-науково-практичної конференції. Івано-Франківськ, 2023. С. 5 – 11. (*Особистий внесок – 50%, аналіз та обробка результатів написання тез*).

58. **Грицуляк Г.** Органічне землеробство альтернатива розвитку сільського господарства. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «*Актуальні проблеми науки, освіти та технологій в умовах сучасних викликів*». Ч.2. ЦФЕНД, Умань, 21 березня 2023. С. 14 – 17. (*Особистий внесок – 50%, аналіз та обробка результатів написання тез*).

Патенти на корисну модель:

59. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Спосіб вирощування верби енергетичної : пат. 127570 Україна : МПК А01В 79/00 А01С 21/00; № у 201802371 ; заявл. 12.03.2018 ; опубл. 12.08.2018, Бюл. 15.

60. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Спосіб покращання гумусового стану опідзолених ґрунтів за вирощування енергетичних культур : пат. 146230 Україна

: МПК А01С 21/00 А01С 21/00; № у 2020 01523 ; заявл. 03.03.2020 ; опубл. 03.02.2021, Бюл. № 5.

61. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Спосіб удобрення верби енергетичної з використанням цементного пилу : пат. 146292 Україна : МПК А01С 21/00 А01С 21/00; № у 2020 01265 ; заявл. 26.02.2020 ; опубл 10.02.2021, Бюл. № 6.

62. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Полутренко М., Караванович Х. Спосіб фіторе mediaції ґрунту, забрудненого відходами буріння та нафтопродуктами : пат. 145615 Україна : МПК В09С 1/10 (2006.01); № у 2020 04453 ; заявл. 16.07.2020 ; опубл. 29.12.2020, Бюл. № 24.

63. Полутренко М., **Грицуляк Г.**, Коцюбинський А., Сав'юк Р. Спосіб перероблення наземної частини сильфії пронизанолистої : пат. 143791 Україна : МПК (2020.01) D21С 3/00; № у 2020 01650 ; заявл. 10.03.2020; опубл.10.08.2020, Бюл. № 15.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	25
ВСТУП	27
РОЗДІЛ 1	
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВНЕСЕННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД ЯК ДОБРИВА ПІД ЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ (огляд літератури)	36
1.1 Екологічні переваги та ризики внесення осаду стічних вод як добрива під фітоенергетичні культури.....	36
1.2 Технологічні аспекти переробки осаду стічних вод у добрива.....	50
1.3 Підготовка осаду стічних вод для внесення під енергетичні культури та ефективність його застосування.....	55
Висновки до розділу 1.....	65
РОЗДІЛ 2	
ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	67
2.1 Програма досліджень і схеми польових дослідів.....	67
2.2 Характеристика зони та метеорологічні умови в роки проведення досліджень	75
2.3 Методологія виконання досліджень	84
2.4 Фізико-хімічна характеристика ґрунту дослідних ділянок.....	94
2.5 Технологічні аспекти вирощування фітоенергетичних культур в умовах польових досліджень.....	100
Висновки до розділу 2.....	105
РОЗДІЛ 3	
ОЦІНКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА	106

	23
3.1 Порівняльний аналіз осаду стічних вод та інших органічних матеріалів	106
3.2 Вміст важких металів і елементний склад осаду стічних вод, підготовленого до внесення у ґрунт.....	112
Висновки до розділу 3.....	121
РОЗДІЛ 4	
ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД НА	122
АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ	
4.1 Фізико-хімічні властивості ґрунту та поживний режим.....	122
4.2 Біологічна активність ґрунту.....	174
4.3 Фітосанітарний стан ґрунту	193
Висновки до розділу 4.....	201
РОЗДІЛ 5	
МІГРАЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ.....	204
5.1. Вміст важких металів і токсичних сполук у ґрунті.....	204
5.2. Розподіл важких металів по органах фітоенергетичних культур.....	242
Висновки до розділу 5.....	278
РОЗДІЛ 6	
ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД НА	280
ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ	
КУЛЬТУР.....	
6.1 Зміна біометричних показників фітоенергетичних культур під впливом застосування різних доз і схем внесення ОСВ.....	280
6.2 Динаміка нагромадження енергетичними культурами сировини і сухої речовини.....	296
6.3 Біохімічні показники вегетативної маси енергетичних культур.....	322
Висновки до розділу 6.....	327
РОЗДІЛ 7	
РЕВІТАЛІЗАЦІЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ШЛЯХОМ	329
ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР	

Висновки до розділу 7.....	349
РОЗДІЛ 8	
ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД ЗА ВИРОЩУВАННЯ ФІТОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР.....	351
Висновки до розділу 8.....	372
ВИСНОВКИ.....	374
РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	380
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	381
ДОДАТКИ.....	428

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

КБП – коефіцієнт біологічного поглинання

КУО – колонієутворюючі мікроорганізми;

НАМ – надлишковий активний мул;

ВМ – важкі метали;

ГВК – ґрунтово-вбирний комплекс;

ГДК – гранично допустима концентрація;

г/га – грам на гектар;

Гзаг – гумус загальний;

Га – гумус активний;

Гп – гумус пасивний;

ГК – гумінові кислоти;

кг/га – кілограм на гектар;

мг/кг – міліграм на кілограм;

мг-екв/100 г – міліграм - еквівалент на 100 грамів ґрунту;

ФК – фульвокислоти;

Сзаг – вуглець загальний;

Сгк – вуглець гумінових кислот;

Сфк – вуглець фульвокислот;

ОСВ – осад стічних вод;

ТПВ – тверді побутові відходи;

СОП – стандартні операційні процедури;

ВРХ – велика рогата худоба;

Вга – біогеохімічна активність;

Кба – коефіцієнт біологічного поглинання;

Кб – коефіцієнт біологічного накопичення;

Кс – коефіцієнт концентрації;

E_{mf} – коефіцієнт рухомості елемента;

$I_{(i-tp)}$ – індекс внутрішньотканинного забруднення рослин;

C_{thm} – коефіцієнт переходу важких металів;

K_{TF} – коефіцієнт транслокації «корінь-листя»;

K_{ee} – коефіцієнт енергетичної ефективності;

PhE – фітотоксичний ефект;

IS – інтегральний показник забруднення ґрунтового покриву;

FT – коефіцієнт транслокації «листя-корінь»;

BE_y – величина валової енергії;

$\Sigma Q_{пр}$ – сукупність енергетичних витрат.

ПП – приватний підприємець

ВСТУП

Актуальність теми. Системні екологічні проблеми, які набули загрозливих масштабів впливу на глобальні зміни клімату, актуалізують необхідність пошуку відновлювальних джерел енергії, які б відзначалися мінімальним або нульовим балансом викидів вуглецю в атмосферу. Одним із перспективних напрямів розвитку відновлюваних джерел енергії, які характеризуються інтенсивним секвеструванням вуглецю в біомасі та органічній речовині ґрунтового покриву, є біоенергетика. В Україні біоенергетика є одним зі стратегічних шляхів розвитку сектору відновлюваної енергетики, оскільки ґрунтово-кліматичні умови сприяють вирощуванню переважної більшості видів перспективних фітоенергетичних культур, зокрема: верби енергетичної (*Salix viminalis* L.), міскантуса (*Miscanthus x giganteus*), світчграсу (*Panicum virgatum* L.), сільфії пронизанолистої (*Silphium perfoliatum* L.) та топінамбура (*Helianthus tuberosus* L.). Крім отримання біомаси, вирощуванням таких культур на маргінальних ґрунтах можна створити умови для уповільнення процесів деградації та стабілізації екологічного стану ґрунтового покриву з подальшою його ревіталізацією, що сприяє стабілізації ґрунтових систем та покращанню їх основних фізико-хімічних, агротехнологічних та біоекологічних властивостей. Це, в свою чергу, зумовить підвищення стійкості агроєкосистем.

Володіючи високим потенціалом нагромадження фітомаси, енергетичні культури позитивно реагують на внесення добрив. З огляду на недостатню кількість органічних добрив для традиційного рослинництва, джерелами збільшення ресурсів органічної речовини у ґрунті під біоенергетичними культурами можуть слугувати нетрадиційні види органічної сировини, зокрема осад стічних вод (ОСВ).

Внесення ОСВ під біоенергетичні культури має значні перспективи і дозволяє вирішувати проблему утилізації нагромаджених значних його запасів у комунальних господарствах міст, а також сприяє забезпеченню рослин необхідними макро- і мікроелементами. Однак, цей сировинний ресурс може

містити забруднюючі речовини та полютанти. З огляду на це, важливо вивчити закономірності формування продуктивності біоенергетичних культур після внесення в різний спосіб осаду стічних вод, з урахуванням їхнього агроекологічного впливу на екосистеми, з метою подальшого нарощування обсягів виробництва біомаси та стабілізації енергетичного балансу України.

Питання технологічних аспектів вирощування різних видів енергетичних культур в ґрунтово-кліматичних умовах України відображені в публікаціях О. М. Ганженка, 2019; М. Я. Гументика, 2017; С. М. Каленської, 2019; В. І. Кравчука, 2007; М. І. Кулика, 2020; Ю. В. Лихолата, 2022; М.М. Харитонова, 2009; Я. Д. Фучила, 2011; ефективність застосування осаду стічних вод та інших відходів як добрив в агрофітоценозах (зокрема, й на техногенних та забруднених ґрунтах) вивчали П. В. Писаренко, 2019; Є. В. Скрильник, 2018; А. І. Фатєєв, 2016; М. В. Патика, 2015, М. Й. Шевчук, 2018. Однак питання застосування ОСВ як добрива саме під енергетичні культури в умовах деградованих дерново-підзолистих ґрунтів вивчені недостатньо, що зумовило актуальність наукових досліджень за цією тематикою.

Запропоновані в дисертаційній роботі способи використання осаду стічних вод як добрива під фітоенергетичні культури знайшли усебічне наукове обґрунтування на основі оцінки результатів їхнього впливу на фізико-хімічні, біологічні та екологічні показники дерново-підзолистого ґрунту Передкарпаття.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконували відповідно до тематичних планів Львівського національного аграрного університету за комплексною науково-дослідною темою факультету агротехнологій та екології: «Розробка науково-обґрунтованих систем управління продуктивним потенціалом виробництва продукції рослинництва, ведення землеробства на основі екологостабілізуючих заходів з охорони ґрунтів в агрокліматичних зонах Західного регіону України» (№ ДР 0111U001253) – (2016 – 2019 рр.); «Підвищення рівня екологічної безпеки та продовження ресурсу експлуатації споруд нафтогазового комплексу» (№ ДР 0118 U006751) – (2018 – 2021 рр.);

«Розроблення науково-практичних підходів та технологій захисту навколишнього середовища» (№ ДР 0121 U113388) – (2021– 2023 рр.); Ініціативних проєктів ГО «Екодія»: «Карпатські лісові школи: пілотне співробітництво для збереження природи та екологічної освіти» (2021 р.); «Відродження естетико-екологічних функцій малих водотоків р. Млинівки (Стебницької) та р. Радчанки на території Івано-Франківської МОТГ» за фінансової підтримки Федерального міністерства економіки та кліматичних дій Німеччини в рамках проєкту Міжнародної Кліматичної Ініціативи (ІКІ) “Посилення громадянського суспільства в реалізації національної кліматичної політики” (2023 р.).

Мета і завдання дослідження. Мета досліджень – встановити закономірності зміни екологічного стану дерново-підзолистого ґрунту та формування біомаси фітоценозів енергетичних культур у випадку внесення різних доз осаду стічних вод та компостів, виготовлених на його основі, з іншими органічними матеріалами, а також показати екологічну, енергетичну та економічну оцінки ефективності його застосування; оцінити перспективи використання осаду стічних вод у заходах ревіталізації нафтозабруднених ґрунтів.

Для досягнення поставленої мети вирішували такі завдання:

- визначити хімічний склад осаду стічних вод комунального господарства, розробити технології підготовки його до внесення у ґрунт як добрива та оцінити агрохімічні властивості порівняно з іншими нетрадиційними видами органічних добрив і екологічні ризики застосування;

- встановити вплив внесення осаду стічних вод і компостів, виготовлених на його основі, на агроекологічний стан дерново-підзолистого ґрунту в орному (0 – 20 см) і підорному (20 – 40 см) шарах, зокрема закономірності зміни фізико-хімічних властивостей, гумусового статусу та енергоємності гумусу, поживного режиму, біологічної активності, фітосанітарного забруднення та фітотоксичності;

– визначити закономірності зміни вмісту хімічних елементів (зокрема, важких металів) у дерново-підзолистому ґрунті і їх міграції за профілем; особливості нагромадження їх міцнозв’язаних та рухомих форм під впливом унесення осаду стічних вод та компостів, виготовлених на його основі, а також біологічне поглинання і траслокацію в органах фітоенергетичних культур (вербі енергетичній, міскантусі, світчграсі, сильфії пронизанолистій і топінамбурі) і показники внутрішньотканинного забруднення;

– виявити закономірності зміни біометричних показників вегетативної маси та особливості динаміки формування продуктивності енергетичних культур у випадку внесення різних доз осаду стічних вод та компостів, виготовлених на його основі, а також залежності біохімічного складу від зміни режиму мінерального живлення агрофітоценозів енергетичних культур;

- встановити ефективність запропонованих заходів ревіталізації ґрунтового покриву нафтозабруднених ґрунтів;

– оцінити екологічну, енергетичну та економічну ефективність застосування різних доз осаду стічних вод та компостів на його основі під енергетичні культури, а саме вербу енергетичну, міскантус, світчграс, сильфію пронизанолисту, топінамбур.

Об’єкт дослідження – геохімічні, фізико-хімічні та біологічні процеси, які характеризують зміну екологічного стану ґрунту, що зумовлює зміну продуктивності енергетичних культур, а саме верби енергетичної, міскантуса, світчграсу, сильфії пронизанолистої, топінамбура у разі внесення осаду стічних вод і компостів, виготовлених на його основі.

Предмет дослідження – геохімічні, фізико-хімічні, біологічні та екологічні показники дерново-підзолистого ґрунту у разі внесення осаду стічних вод як добрива, що впливають на рівень продуктивності агрофітоценозів, екологічну, енергетичну та економічну ефективність вирощування енергетичних культур.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та вирішення задач досліджень було застосовано такі методи: польовий – для визначення

агрохімічної ефективності осаду стічних вод за вирощування фітоенергетичних культур на дерново-підзолистих ґрунтах; лабораторний: хімічний – для визначення хімічного складу ґрунту та вирощених на ньому фітоенергетичних культур; мікробіологічний – для оцінки стану мікробіологічного комплексу ґрунту; розрахунковий – для оцінки рівня продуктивності фітоенергетичних культур, економічної та енергетичної ефективності різних систем внесення добрив; статистичний – для оцінки рівня застосування добрив упродовж тривалого періоду та взаємодії факторів, що вивчалися в дослідженнях.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше встановлено еколого-агрохімічну ефективність застосування осаду стічних вод як добрива під фітоенергетичні культури, а також запропоновано вирішення проблеми екологічно безпечної його утилізації на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття за результатами комплексних ґрунтового-агрохімічних, мікробіологічних та агроекологічних досліджень, визначення показників продуктивності агроценозів, економічної та енергетичної ефективності; визначено шляхи ревіталізації нафтозабруднених ґрунтів з відновленням екологічних функцій ґрунтового покриву; встановлено основні закономірності міграції важких металів і токсичних сполук у ґрунті за внесення осаду стічних вод під фітоенергетичні культури; досліджено вплив застосування осаду стічних вод під енергетичні культури на агроекологічний стан дерново-підзолистого ґрунту, а саме, на зміну фізико-хімічних властивостей ґрунту та його поживного режиму, фітосанітарний стан та біологічну активність.

Удосконалено систему мінерального живлення фітоенергетичних культур з урахуванням впливу осаду стічних вод та компостів, виготовлених на його основі, на еколого-агрохімічний стан і фітотоксичність дерново-підзолистого ґрунту, характер трансформації в ньому органічної речовини, динаміку вмісту гумусових сполук та секвестрацію вуглецю, зміну фракційно-групового складу гумусу та біологічної активності ґрунту; визначено вплив застосування осаду стічних вод на формування продуктивності агрофітоценозів, зокрема, на зміну біометричних показників, а також динаміку нагромадження енергетичними

культурами сирої і сухої речовини та зміну біохімічних показників вегетативної маси біоенергетичних культур;

Набуло подальшого розвитку вчення про особливості екологічно безпечної утилізації місцевих сировинних ресурсів як джерела органічної речовини у ґрунті з метою відновлення його екологічних функцій; удосконалено технологічні підходи стосовно підготовки до використання осаду стічних вод як добрива, оцінки їхнього елементного складу (в тому числі вмісту важких металів).

Практичне значення одержаних результатів. Досліджено хімічний склад осаду стічних вод і встановлено порівняно високий вміст органічної речовини і поживних речовин, що робить його придатним для використання як органічного добрива та основного складника матеріалу для виготовлення компостів.

Розроблено практичні рекомендації щодо використання осаду стічних вод у вигляді компостів з соломою для підвищення врожайності фітоенергетичних культур на дерново-підзолистих, глейових, середньосуглинкових ґрунтах. Доцільним є використання осаду стічних вод у дозі 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$ безпосередньо з мулових карт очисних споруд під насадження фітоенергетичних культур. Однак, зважаючи на негативний екологічний вплив, більш ефективним буде використання компостів на його основі з додаванням соломи у дозі 30 т/га + $N_{30}K_{55}$ для інтенсивнішого нагромадження сухої маси фітоенергетичних культур без виникнення небажаних наслідків, оскільки внесення компостів дозволяє зменшити вміст важких металів у дерново-підзолистому ґрунті порівняно зі свіжим осадом стічних вод.

Основні результати наукових досліджень використовуються у навчально-виховному процесі під час викладання дисциплін «Агрохімія», «Хімія з основами біогеохімії», «Геохімія довкілля» для студентів II – IV курсів спеціальності 101- «Екологія» та для студентів спеціальності 201 - «Агрономія» Івано-Франківського коледжу Львівського національного аграрного університету (Івано-Франківський фаховий коледж Львівського національного

університету природокористування, довідка від 27.11.2019 р. № 01/5 – 302), а також під час викладання вибіркових дисциплін «Рекультивація земель», «Енергетичні культури в альтернативній енергетиці» для здобувачів першого рівня вищої освіти (бакалавр) Івано – Франківського національного технічного університету нафти і газу для студентів спеціальності 183 - «Технології захисту навколишнього середовища» та впроваджено у виробництво на площі 57,2 га в ПП «Степан Мельничук» с. Турка Коломийського району Івано-Франківської області, де застосування компостів на основі осаду стічних вод забезпечило приріст врожайності верби енергетичної на 30,2 – 45,7 т/га порівняно з традиційною системою внесення добрив (акт від 10.12.2019 р.) (додаток А), впроваджено у виробництво на площі 21,8 га в фермерському господарстві «Володимир» Калуського району Івано-Франківської області.

За матеріалами досліджень одержано 5 патентів на корисну модель.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням авторки, яка брала безпосередню участь в обґрунтуванні наукової проблеми, розробленні схеми польових дослідів, визначенні мети, завдань і підборі методик досліджень, аналізі та статистичній обробці отриманих експериментальних даних, формулюванні наукових висновків, а також у демонстрації та впровадженні результатів досліджень у виробництво. Зі спільних наукових праць у дисертаційній роботі автором використано результати власних досліджень та лабораторних аналізів.

Апробація результатів досліджень. Основні положення та результати дисертаційного дослідження апробовані на численних конференціях, міжнародного та національного рівня, зокрема, результати VIII Міжнародної науково - практичної конференції «Сучасний рух науки» (3 – 4 жовтня 2019, Дніпро); Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, присвяченої Міжнародному Дню агрохіміка «Актуальні проблеми ґрунтознавства, землеробства та агрохімії» (9 – 13 червня 2017, Львів); III Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Актуальні проблеми сучасної хімії» (24 травня 2019, Миколаїв.); XLVI

Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні наукові дослідження в сучасному світі» (26 – 27 лютого 2019, Переяслав-Хмельницький,); VI Міжнародного конгресу «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (23 – 25 вересня 2020, Львів); The 11-th International scientific and practical conference «Actual trends of modern scientific research» (June 6 – 8 2021, Munich, Germany); VI-й Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (9 – 10 лютого 2021, Львів.); The V-th International scientific and practical conference «Science, innovations and education: problems and prospects» (8 – 10 December 2021, Tokyo, Japan); Міжнародна науково-практична конференція «Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів» (23 – 25 листопада 2021, Київ); The XI-th International Scientific and Practical Conference. «Methodological and attitudinal principles of classical science» (13 – 14 March 2023, Stockholm, Sweden); The X-th International Scientific and Practical Conference «Innovative ways of learning development», (13 – 15 March 2023, Varna, Bulgaria); The XXII-th International Scientific and Practical Conference. International Trends in Science and Technology, (28 February, 2020, Warsaw, Poland); The V-th International scientific and practical conference «Science and education: problems, prospects and innovations» (4 – 6 February 2021, Kyoto, Japan); The V-th International scientific and practical conference «European scientific discussions» (1 – 3 February 2021, Rome, Italy); The III-th international scientific and practical conference, (7 – 9 February 2021, Buenos Aires, Argentina); International Conference on Research and Development in Science «Technology and management in the Current Era», (February 2021, India); The VII-th International Scientific and Practical Conference. «Science, trends and perspectives of development» (21 – 23 February 2022, Budapest, Hungary); The V-th International Scientific and Practical Conference. «Eurasian Scientific Discussions» (5 – 7 June 2022, Barcelona, Spain); The I-th International Scientific and Practical Conference «World science priorities» (15 – 16. December 2022, Viena, Austria); The IX-th International Scientific and Practical Conference. «Promising ways

of solving scientific problems» (26 – 28 December 2022, Belgium, Brussels); Матеріали III-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Current questions of modern science» (09 – 10 березня 2023, Івано-Франківськ); The XI-th International Scientific and Practical Conference «Methodological and attitudinal principles of classical science» (13 – 14 March 2023, Stockholm, Sweden); The X-th International Scientific and Practical Conference «Innovative ways of learning development» (13 – 15 March 2023, Varna, Bulgaria.); The VI-th International Scientific and Practical Conference «Scientific research in the modern world» (6 – 8 April 2023, Toronto, Canada.); The XVII-th International Scientific and Practical Conference «The research process in science and the implementation of results» (24 – 25 April 2023, Maribor, Slovenia).

Публікації. Основні результати і висновки дисертаційного дослідження опубліковано у 63 працях, у тому числі 17 – у закордонних виданнях, що входять до наукометричних баз даних Scopus і Web of Science, 7 – статей у фахових наукових виданнях України, 2 – у зарубіжних наукових збірниках, 5 – в інших виданнях наукового та науково-практичного характеру, 25 – у матеріалах і тезах наукових форумів, конференцій. За результатами досліджень отримано 5 патентів на корисну модель, 2 колективні монографії, видані за кордоном.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, 8 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаної літератури та додатків. Основний матеріал дисертаційної роботи викладено на 379 сторінках комп'ютерного тексту. Дисертаційна робота містить 121 таблицю, 148 рисунків, 90 додатків.

Перелік використаних джерел наукової літератури складається з 407 назв, із яких 210 – латиницею.

РОЗДІЛ 1

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВНЕСЕННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД ЯК ДОБРИВА ПІД ЕНЕРГЕТИЧНІ КУЛЬТУРИ (огляд літератури)

1.1 Екологічні переваги та ризики внесення осаду стічних вод як добрива під фітоенергетичні культури

Світова проблема екологічно безпечної утилізації стічних вод та їх осаду (ОСВ) зумовлена загальною урбанізацією планети, постійно зростаючими обсягами відходів комунального господарства. Надмірне використання природних ресурсів зумовлює важливість пошуку шляхів ефективного повторного використання води і поживних речовин, які містяться в стічних водах та їх осаді. В усьому світі ОСВ розглядається як важливий ресурс для використання в аграрній сфері [18, 22, 69, 77, 216].

Цінність ОСВ пов'язана із вмістом у ньому біогенних речовин – сполук азоту, фосфору та сполук вуглецю. Завдяки порівняно високому вмісту в ОСВ основних елементів живлення та певних мікроелементів, у світовій практиці все частіше застосовується поширений спосіб його утилізації, шляхом внесення як добрива для вирощування культурних рослин. Багато дослідників відзначають значний вплив внесення ОСВ на фізико-хімічні, агрохімічні, екологічні властивості ґрунту, зміну хімічного складу вирощуваних рослин, на рециркуляцію поживних сполук в агроєкосистемах [54, 75, 76, 226, 229].

Використання ОСВ як джерела поживних речовин і органічних сполук може сприяти покращанню живильного режиму ґрунту та водночас стати і причиною екологічних ризиків через імовірний вміст важких металів, органічних сполуки та патогенів [92, 149, 159, 216], що може слугувати додатковим джерелом забруднення агроєкосистем та включення поллютантів у трофічні ланцюги живлення. Деградація ґрунту через підвищений вміст важких металів вважається серйозною загрозою якості ґрунту та здоров'ю людини [112, 136, 222].

Українська науковиця В. А. Гетманенко провела порівняльну оцінку міських стічних вод та гною як добрива та дослідила особливості накопичення важких металів у ґрунті та рослинній продукції у результаті внесення ОСВ [32, 33, 34, 143, 146].

З огляду на вище викладене, сільськогосподарське використання ОСВ має не тільки переваги, а й низку загроз поширення нових забруднювачів в навколишньому середовищі і в агропродукції [238]. ОСВ може сприяти поширенню органічних забруднювачів у ґрунті, що є прямими екологічними ризиками [38, 50, 226]. Внесення ОСВ у ґрунт може пригнічувати розвиток ґрунтової мікрофлори і мезофауни, негативно впливати на мікробний біом і резистом ґрунту (англ. microbiome and resistome). Також у ОСВ можуть бути присутні фармацевтичні препарати у різних концентраціях, а наявність цих мікрозабруднювачів (віруси, збудники хвороб, гельмінти, мийні засоби) негативно вплине на навколишнє середовище [54, 115, 136, 137, 224].

Небезпечні речовини в ОСВ можуть загрожувати агроекосистемам і безпеці продуктів харчування. Довготермінове застосування ОСВ може істотно підвищити концентрацію забруднювачів, що спричиняє шкідливий вплив на навколишнє середовище та викликає гіпернакопичення або фітотоксичність у вирощених культурах [43, 236]. Також внесення ОСВ може імпортувати у ґрунт значну кількість мікропластику, що може накопичуватися та впливати на властивості ґрунту, а також мігрувати профілем ґрунту, що може призвести до забруднення глибоких шарів ґрунту і підземних вод [44, 232, 384].

Іншим аспектом екологічних загроз використання ОСВ може бути інтенсивне вимивання хімічних сполук з ОСВ та їх подальша міграція профілем ґрунту. Згідно досліджень, вимивання нітратних та амонійних сполук азоту, Ni і Cd, «...що походять із осаду стічних вод, можуть досягати глибини більше 0,8 м і спричиняти забруднення потенційних неглибоких водоносних горизонтів...» [134, 149, 164, 235].

Таким чином, у підходах щодо використання відходів стічних вод конфліктують дві точки зору. Перша розглядає стічні води як резервуар

поживних сполук і органічних речовин, які можна використовувати як добриво в сільському господарстві, для рекультивації забруднених ділянок та для створення «антропогрунтів» [238, 239]. З іншого боку, стічні води вважаються потенційним джерелом забруднення ґрунту «органічними та мінеральними забруднювачами, патогенами, потенційно токсичними елементами (цинк, мідь, кадмій, свинець, срібло тощо), поліциклічними ароматичними вуглеводнями, біоцидами та фітофармпрепаратами, засобами особистої гігієни та їхніми залишками, синтетичними гормонами, мікропластику, кінцевих продуктів життєвого циклу нано- і біотехнологій, високоспецифічних мікроорганізмів» [171, 410].

Одним із компромісних та екологічно безпечних варіантів використання ОСВ є його внесення під енергетичні культури, які вирощують для отримання біомаси як джерела відновлюваної енергії [10, 20, 294]. Поєднання виробництва біомаси з деревини, яка швидко зростає, «...з очищенням стічних вод є привабливою концепцією з економічної, енергетичної та екологічної точок зору» [45, 135].

Щодо розвитку біоенергетики в Україні, сьогодні відомі праці Гелетути Г. Г., який обґрунтував необхідність впровадження «зеленого» енергетичного переходу в Україні, дослідив тенденції зростання частки відновлюваних джерел енергії в енергетичному балансі країни; провів аналіз глобальних сценаріїв розвитку біоенергетики (у тому числі в окремих секторах), а також визначив пріоритетні напрямки розвитку біоенергетики в Україні [30, 31, 32, 33, 256]. Також доступні для вивчення праці Гнатишина Л. та Гончарука І., які розглядали економічно-екологічні перспективи вирощування біоенергетичних культур в Україні [38, 39, 385].

Також, аналізуючи стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні, важливо відзначити дослідника Гументика М. Я., який розробляє наукові підходи до підвищення обсягів вирощування органічної сировини для виробництва енергії. Вчений успішно створив ефективну технологію створення промислових плантацій виробництва біомаси з використанням

високопродуктивних енергетичних культур, що забезпечує стабільну сировинну базу біомаси для безперебійної роботи теплогенеруючого обладнання твердопаливних котлів протягом усього опалювального сезону [52, 67].

Біомаса багатьма науковцями розглядається як єдине джерело відновлюваної енергії, яке у найближчій перспективі може значно потіснити рідке транспортне паливо на основі нафти, а стічні води та їх осад вважаються важливим потенційним ресурсом, який можна використовувати для виробництва біомаси на енергетичні цілі [124, 333]. «Біомаса відіграє важливу роль серед відновлюваних джерел енергії, і з цієї причини її іноді називають «паливом майбутнього» [25, 31]. Виробництво енергії з відновлюваних джерел швидко зростає через занепокоєння щодо енергетичної безпеки та впливу зміни клімату. «Тому перехід до досягнення стійких систем виробництва енергії (енергії, виробленої з мінімальним негативним впливом на здоров'я людини та здорове функціонування життєво важливих екологічних систем, включаючи глобальне навколишнє середовище) є надзвичайно важливим» [31, 280].

Використання ОСВ як добрива для технічних або енергетичних культур розглядається як найбезпечніший і економічно доцільний спосіб його утилізації в агросфері [32, 43, 263].

Яскравим прикладом цього може бути верба енергетична, яка є не лише джерелом біомаси, але й хорошим фіторемедіатором території, тобто має здатність засвоювати небезпечні речовини із забрудненого ґрунтового середовища. Використання ОСВ з метою кондиціонування ґрунту для сільськогосподарських цілей може бути потенційною альтернативою для його належної утилізації та підвищення родючості ґрунту завдяки високому вмісту органічної речовини та деяких важливих поживних речовин для рослин. Але можлива наявність токсичних важких металів і патогенних мікроорганізмів обмежує його використання. Внесенням різних доз ОСВ було помічено, що різні параметри ґрунту значно змінювалися порівняно з необробленим контрольним ґрунтом [4, 14, 17, 392, 404]. У дослідженнях науковців [11, 15, 339] вміст загального органічного вуглецю і азоту у ґрунті зростали аж до внесення 50 т/га

осаду стічних вод. Як наслідок, це призвело до значного та швидкого зростання мікробіологічної активності ґрунту, зокрема мікробної біомаси, базального дихання та активності ґрунтових ферментів – фосфатази, дегідрогенази, уреазы з поступовим їх зниженням. ОСВ також сприяло збільшенню доступних форм важких металів (Cr, Ni, Pb, Cu та Cd). Проте всі значення доступних форм важких металів були нижчими порогових значень для забрудненого ґрунту [14, 343].

Застосування ОСВ має чималі переваги під час вирощування біоенергетичних культур, ремедіації деградованих земель. Проте цей захід повинен оцінюватися з огляду на енергетичну безпеку [16, 29, 349].

Одним із економічних і перспективних способів утилізації стічних вод є використання насаджень верби енергетичної, що може бути виваженим і стійким підходом до очищення муніципальних стічних вод, а також їх осаду, що, відповідно, потенційно зменшує як екологічні ризики, так і економічне навантаження порівняно зі звичайним очищенням [2, 19, 22, 56]. Однак, вплив застосування ОСВ на потенціал формування біомаси верби ще повною мірою не встановлений та залишає перспективи для вивчення [32, 45, 73].

Зараз ведуться активні дослідження в різних частинах світу щодо ефективного внесення ОСВ під вербу енергетичну [56, 233, 379]. Також розробляються технічні рішення щодо повторного підповерхневого внесення ОСВ у насадження цієї рослини [29, 56, 99, 350].

На плантаціях верби після збирання біомаси і повторного внесення ОСВ суттєво зростає виживання рослин, інтенсивність росту у висоту, чиста продуктивність фотосинтезу, проникність крізь продихи листків і транспірація, а також кількість відрослих пагонів у рослин [90, 93, 407].

Проблема нейтралізації та використання ОСВ, що утворюються на спорудах очищення стічних вод, відіграє важливу роль у контексті комплексу завдань щодо охорони довкілля від забруднення [21, 50, 57, 277]. Значна кількість осадів, висока їх вологість, наявність органічних сполук, здатність швидко загнивати, неоднорідний склад та властивості, що швидко змінюються, ускладнюють утилізацію ОСВ [89, 262].

Склад ОСВ залежить від таких чинників: промисловість і муніципальні служби, методи очищення та сезон використання [120, 121, 252]. Проведені в різних країнах практичні дослідження складу осаду з очисних споруд, які отримують стічні води з різних джерел (побутових, промислових, медичних закладів), виявили помітні коливання вмісту як мікроелементів, так і основних мінеральних та органічних сполук [45, 132, 265].

Завдяки використанню сучасної технології та обладнання можливе очищення ОСВ, які містять не тільки забруднюючі речовини, а й цінні органічні і мінеральні сполуки [139, 159, 264].

Існує багато сфер застосування для ОСВ та продуктів його переробки у різних галузях промисловості по всьому світу. У сільськогосподарському секторі ОСВ використовуються як сировина для створення багатих поживними речовинами ґрунтів, рекультивації порушених земель покривним ґрунтом, виробництва органічних і фосфорних добрив, виготовлення кормових добавок [158, 241, 255]. У будівництві він знаходить застосування під час виготовлення утеплювачів, таких як керамзит і керамічна цегла, а також тротуарної плитки [164]. Крім того, він відіграє важливу роль у цементній промисловості та у виробництві органічно-мінерального порошку для будівництва доріг. В енергетиці він використовується у виробництві біогазу та паливних пелет [183, 270].

За даними низки наукових джерел щороку:

- в США продукується 6,5 млн т ОСВ, з яких 29% повинні бути захороненими [169, 393, 402];
- приблизно така ж кількість ОСВ накопичується у Китаї – 6,25 млн т, з яких понад 83% з яких скидаються у поверхневі води без очищення [169, 62, 393];
- у Японії із 2 млн т ОСВ 52% використовують для виробництва будівельних матеріалів [191, 169, 407];
- в ЄС продукується близько 10 млн т, з яких 36% використовують у сільському господарстві [42, 21, 398];

- в Україні щорічний обсяг накопичення ОСВ становить близько 3 млн т, з яких лише 3 – 5% використовують, в основному, для виробництва органічних мінеральних добрив [77, 243].

Обмежена територія, висока щільність населення зумовили необхідність рішучих дій із вирішення проблеми їх утилізації. Так, станом на 2016 р. в Японії побудовано 2200 сучасних очисних комплексів із переробки ОСВ [56, 290]. Напевне, саме тому фахівці із Японії та японський уряд надали місту Києву матеріальну та технічну допомогу для вирішення надзвичайно болючої проблеми модернізації технічного стану та ліквідації значної частини накопичених ОСВ Бортницької станції аерації [77, 288, 290].

Сьогодні поводження з ОСВ регулюється численними нормативами, деякі з яких надмірні і створюють додаткові перешкоди для застосування цієї сировини в сільському господарстві [290].

Однією з таких перешкод є складність реєстрації агрохімікатів, до яких існуюча нормативна база відносить і продукти переробки ОСВ, орієнтовані на агрокультурне застосування. В країнах ЄС в аграрному виробництві використовують, близько 40% осаду. Зокрема, в Іспанії – 83%, у Великій Британії – 68%, в США – 41% [42, 284].

Наразі проведено детальні дослідження осаду міських стічних вод, що підтвердило його значення як цінного добрива для органічного і мінерального збагачення ґрунтових систем. Цей мул містить різноманітний набір мікроелементів, необхідних для оптимального росту різних культур. Зокрема, після біохімічної обробки активний мул виявляється чудовим органічним добривом завдяки високому вмісту азоту та засвоюваних фосфатів. Концентрація цих речовин в мулі залежить від складу стічних вод і застосованого процесу очищення [25].

У середньому співвідношення загального органічного вуглецю до азоту становить 15 : 1. Слід зазначити, що калій не накопичується в ґрунті, оскільки в донних відкладах не вистачає достатньої кількості цього елемента [209, 221].

Мінеральний склад шламу, в основному, складається з кальцію, кремнію, алюмінію та заліза [171, 293]. Внесення осаду в ґрунт значно знижує кислотність і підвищує рівень азоту, гумусу і фосфору. Оброблений вапном осад вкрай необхідний для кислих ґрунтів [55, 258].

Як добриво можна використовувати і ОСВ, і надлишковий активний мул, який пройшов попередню обробку, що забезпечує відсутність процесів гниття, а також елімінацію патогенних мікроорганізмів і яєць гельмінтів [26, 297]. Вартість транспортування осаду до місця призначення є важливим економічним фактором у сільськогосподарській галузі. Висушування осаду до вологості 35 – 45% зменшує його об'єм у 2 – 2,5 рази порівняно з механічно зневодненим осадом. Крім цього, висушений мул має тонкий склад і добре поєднується з ґрунтом і добривами [184, 267].

Принципова схема виробництва сухого добрива з ущільненої суміші сирого осаду первинних відстійників і активного мулу не дуже відрізняється від звичайної обробки осадів. Технологічний процес включає в себе підготовку осаду до механічного зневоднення, проведення процесу зневоднення і подальше термічне сушіння. Одержаний сухий осад повністю знезаражений, легко транспортується і придатний до внесення в ґрунт звичайними сільськогосподарськими машинами. За необхідності сухий осад змішують з мінеральними добривами [21, 271].

ОСВ містять не тільки органічну речовину і цінні поживні компоненти для рослин, але й шкідливі сполуки, насамперед важкі метали. Промислові стічні води є основним джерелом важких металів у очисних спорудах.

Близько 80 – 90% важких металів стічних вод потрапляє в осад. Крім загального вмісту важких металів ОСВ відзначається і підвищеною їхньою біодоступністю. Біодоступними формами важких металів є взаємозамінні метали, які перебувають у водному розчині і можуть зв'язуватися з карбонатами, сульфатами і фосфатами [124, 248].

Метали, зв'язані з оксидами заліза, марганцю і алюмінію, а також органічною фракцією і сульфідами, можуть бути біодоступними за певних умов

реакції середовища, вмісту органічного матеріалу і окисно-відновних властивостей, а також властивостей власне металів [124, 248].

Через наявність у складі основної маси осадів токсичних хімічних речовин (насамперед, важких металів) їх утилізація у даний час не здійснюється. Причиною цього є те, що неочищені або недостатньо очищені стічні води потрапляють до міської каналізаційної системи. Насамперед, це відноситься до стічних вод гальванічних виробництв машинобудівних заводів [1, 407].

В осаді побутових стічних вод міститься велика кількість речовин, шкідливих для людини і навколишнього природного середовища, а також хвороботворних мікроорганізмів, вірусів і грибів [67, 242].

Крім цього, ОСВ може містити понад 500 природних речовин, які зазвичай поділяються на 15 груп, таких як пестициди, поліциклічні ароматичні вуглеводні, хлорфеноли, поліхлоровані дифеніли (ПХД), нітрозозаміни, гормони, ветеринарні препарати тощо. Серед них найнебезпечнішими вважаються діоксини, засоби захисту рослин з групи хлорованих вуглеводнів [35, 40, 266].

Загальновідомо, що склад солей важких металів в ОСВ дуже різний та залежить від якості стічних вод та умов зберігання осаду. Суттєвим чинником, який впливає на рівень забруднення ОСВ, є регіон (територія), в якому вони нагромаджуються. На промислових територіях відзначається суттєве підвищення забруднюючих речовин порівняно з туристичними, рекреаційними та аграрними місцевостями. Коли мова йде про забруднення важкими металами, їх рівень часто може бути значно підвищеним [124, 223].

У літературі міститься небагато відомостей про те, в складі яких сполук важкі метали надходять до ґрунту з ОСВ. Існують дані, що важкі метали в ОСВ можуть перебувати у формі оксидів, сульфатів, фосфатів, а також в колоїдних комплексах [67, 272].

Загалом сполуки важких металів у ґрунті за умов внесення ОСВ зазнають наступних змін: розчинення нестійких сполук, адсорбції катіонів металів твердою фазою ґрунту, утворення нових твердих фаз [11, 357].

У ході наукових досліджень було виявлено, що існує мінімально допустима концентрація важких металів у складі ОСВ, які можуть перейти в розчинний стан, ще 1 – 2% можуть бути поглинуті рослинами. Після внесення ОСВ у ґрунт відбувається розподіл іонів металів між різними реакційними центрами за принципом найвищої спорідненості [150, 401].

Огляд літературних відомостей показує, що процес міграції та накопичення важких металів з ОСВ у ґрунті та рослинах досить суперечливі. У цьому напрямі проведено низку досліджень та виявлено, що за систематичного застосування ОСВ протягом тривалого часу підвищується рівень вмісту мікроелементів у ґрунті та вирощуваній продукції, що може спричинити надходження токсичних елементів харчовими ланцюгами в організм людини [55, 351].

Існує також протилежна думка: важкі метали, які містяться в ОСВ, включаються в природні процеси міграції мікроелементів і не призводять до порушення біологічних і хімічних процесів. Вченими експериментально доведена наявність динамічної рівноваги між інтенсивністю потоків важких металів у ґрунт з ОСВ та буферними властивостями ґрунтів, за якої ризик можливого негативного їхнього впливу на здоров'я людини в результаті транслокації в сільськогосподарські культури мінімальний, навіть за довготривалої дії згаданих чинників [11, 227].

Вченими розроблено значну кількість методів для обмеження міграції токсичних речовин з ОСВ у довкілля, серед яких механічні, хімічні, методи фітоекстракції тощо [231]. До того ж відомо, що гумусові речовини, які, до речі, входять до складу органічної речовини ОСВ, приймають активну участь в інактивації важких металів у ґрунті [67].

Вчені виявили, що використання 0,2% гумінового препарату може значно знизити рівень розчинних важких металів у забрудненому ґрунті [99]. Щоб захистити навколишнє середовище від шкідливого впливу важких металів, важливо ретельно регулювати їх внесення з урахуванням складу ґрунту. Визначення відповідних доз внесення ОСВ у ґрунт, враховуючи конкретний тип

грунту, тип ОСВ та вирощувані сільськогосподарські культури, має вирішальне значення як з екологічної, так і з агрохімічної точки зору [159, 189].

Після вивчення різних літературних джерел стає очевидним, що використання ОСВ як добрива в сільському господарстві є практичним підходом для сільської місцевості та малих населених пунктів. Однак дуже важливо переконатися, що осад не містить або не перевищує допустимих меж токсичних речовин та іонів важких металів. Ефективність використання ОСВ як добрива залежить від його складу, а саме, від наявності фосфору, азоту, калію та різноманітних мікроелементів [184, 331].

Згідно з технічними умовами, використання в сільському господарстві «старих» осадів неприпустимо на відміну від «молодих», вміст важких металів у яких є у 2 – 16 разів меншим.

Водночас необхідно обережно використовувати ОСВ як добриво, через наявність в них солей важких металів (кадмію, свинцю, міді тощо), які здатні нагромаджуватися у ґрунті та рослинах, та може призвести до техногенного забруднення, а в окремих випадках до незадовільного санітарно-епідеміологічного стану ОСВ – до вірусного та бактеріального зараження ґрунтів [15, 46, 403].

Отже, за суворого контролю якості, точного дозування та конкретних умов внесення в ґрунт можна досягти нешкідливого та повсюдного використання ОСВ [123, 360].

Масштаби продукування ОСВ у різних країнах світу в цілому мають тенденцію до збільшення, що пов'язано із зростанням кількості населення та водоспоживання для побутових та промислових цілей.

Утилізація ОСВ в різних країнах світу проводиться різними способами, які включають захоронення на мулових полях, термічне спалювання до зольного залишку, переробку на будівельні матеріали та удобрювальні композиції. У ряді випадків ОСВ використовують для рекультивації земельних угідь, вироблених кар'єрів і закритих звалищ, а також зменшення одержання тепла [237, 272, 387]. Найбільша частка сільськогосподарського використання ОСВ припадає на

Нідерланди (68% загальної кількості), Великобританію (69%), Португалію (87%). В Україні лише 5% його використовують як добрива [391, 397].

Отже, загалом, світові тенденції – спалювання, використання як добрива та будівельні матеріали. На загальному тлі Україна виглядає досить непривабливо, бо захоронення, а точніше – зберігання на мулових картах – є найбільш екологічно небезпечним і нераціональним шляхом поводження із ОСВ [21, 401].

У сучасних умовах застосування ОСВ як удобрювальних композицій вирішує одразу є дві агроекологічні проблеми: зменшує кількість площ, які відводяться під захоронення осадів, та здешевлює транспортування та виготовлення добрив [21, 398].

Дослідження підтверджують високу ефективність застосування ОСВ у вигляді компостів з органічними, мінеральними та інертними наповнювачами [399]. Осади, оброблені хімічними реагентами (найчастіше негашеним вапном), знаходять застосування як орґано-вапняне добриво. Оцінка врожаю за результатами багаторічних дослідів показала, що продуктивність забезпечується не тільки прямою дією, а й післядією перероблених осадів в агроценозі [37, 299].

Протягом останніх років набуло актуальності питання оцінки ефективності використання ОСВ, їх екологічної та радіологічної безпечності, впливу на якість урожаю. Комплексне агроекологічне дослідження ОСВ та компостів на їх основі, а також проведення модельних, вегетаційних та польових дослідів вирощування різних сільськогосподарських та технічних культур із застосуванням ОСВ дозволить розробити та доповнити теоретичну базу для оптимізації застосування нетрадиційних добрив на основі ОСВ з одночасним вирішенням проблеми їх екологічно безпечної утилізації [67, 372].

Склад та властивості ОСВ характеризують такими групами показників:

- фізичними, що включають вміст вологи, текучість, в'язкість, механічний склад;
- хімічними, до яких відносять вміст поживних речовин та неорґанічних і орґанічних токсикантів;

- біологічними, що характеризуються складом мікрофлори і фауни (переважно патогенної) та вмістом органічної речовини [191, 274].

З точки зору удобрювальної цінності ОСВ, найважливішими показниками їхнього хімічного складу є вміст фосфору та азоту – елементів, які визначають продуктивність рослинництва. В планетарному масштабі ресурси азоту невичерпні, але попит на азот у сільському господарстві величезний. ОСВ, окрім азоту, містить токсичні забруднювачі, органічні речовини, патогенні мікроорганізми, неорганічні речовини та важкі метали (кадмій, хром, мідь, свинець, ртуть, нікель, цинк, метали платинової групи (ПГМ), срібло тощо). Хімічний склад ОСВ, що утворюється на кожному етапі очищення комунальних стоків, залежить від обсягу і вмісту забруднюючих речовин та виду обробки: технології очищення, способу обробки мулу з метою його стабілізації, зменшення маси та обсягу, а також від використання хімічних реагентів у процесі очищення стічних вод [209, 373].

Очевидно, що зневоднення ОСВ у якості обробки приводить до підвищення зольності, збільшення вмісту фосфору, калію, азоту, проте видаляється частина летких компонентів, тобто органічної речовини [99, 329].

Основні фізико-хімічні характеристики та інтегральні показники хімічного складу надлишкового активного мулу (НАМ), який утворюється, на етапах біологічного очищення стічних вод і осадів, що утворюються у первинних відстійниках (ОПВ).

Вимоги до ОСВ для їхнього використання у якості органічних та органо-мінеральних добрив на національному та європейському рівні регламентуються низкою нормативних документів. Найважливіші з них:

- ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод та їх осадів для зрошування та удобрювання [99, 329];
- ДСТУ 8727:2017. Осад стічних вод. Підготування органо-мінеральних сумішей з осаду стічних вод [99, 329];
- Директива ЄС 86/278/ЕЕС [99, 329].

Аналіз наведених даних свідчить про значні розбіжності в оцінюванні хімічного складу ОСВ. Причина полягає у наступному:

- автори різних робіт вказують хімічний склад осадів, одержаних на станціях біологічного очищення з різних населених пунктів, у різні періоди часу, на різних стадіях очищення;
- описані результати одержують різними аналітичними методами з різними процедурами пробовідбору та пробопідготовки.

Як бачимо, хімічний склад ОСВ слід вважати дуже варіабельним, тому слід аналізувати кожную партію, яка використовується для виробництва органо-мінеральних добрив чи застосовується без переробки. Слід відмітити, що, наприклад, у опрацьованій літературі не вдалося виявити результати вмісту в ОСВ такого антропогенного токсиканту кумулятивної дії, як ртуть.

Виходячи із значень ГДК елементів, найбільш небезпечним є ртуть (до 1.5 мг/кг), що зумовлено її впливом на природне середовище. Кадмій є не менш небезпечним елементом, ГДК якого складає до 3 мг/кг [115, 302]. Він згубно впливає на живі організми. Нікель у концентрації вище 75 мг/кг набуває руйнівного впливу на екосистему ґрунту. Широкий діапазон ГДК мають Cu, Zn та Cr. Необхідний вміст цих елементів у ґрунті забезпечує живлення рослин, вони входять до складу багатьох видів добрив [45, 76, 246].

З огляду на вище сказане, для екологічної оцінки застосування ОСВ як добрив під сільськогосподарські культури раціонально орієнтуватися на апробовані нормативи, встановлені Директивою ЄС 86/278/ЄЕС [126, 329].

Директива ЄС регламентує екологічні переваги та ризики внесення ОСВ і встановлює досить широкі діапазони допустимих концентрацій важких металів у ґрунті. Це пояснюється тим, що країнам-членам ЄС надається можливість визначити власні нормативні вимоги залежно від індивідуальних особливостей ґрунтів, агротехнологій, вирощуваних культур (для харчування людей чи тварин, чи технічних культур тощо) [99, 309].

1.2 Технологічні аспекти переробки осаду стічних вод у добрива

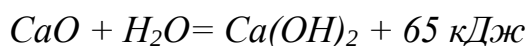
Переробка ОСВ у добриво насамперед повинна вирішити такі основні проблеми:

- детоксикація – видалення чи зниження концентрації ВМ до допустимих значень;
- знезараження.

Для знезараження ОСВ використовують такі технологічні прийоми [164, 183, 295]:

- термообробку до температур порядку 60 – 70°C, яку проводять у метантенках, шляхом термоосушення чи біоферментації;
- опромінення інфрачервоними променями (камера дегельмінтизації);
- пастеризація за температури 70°C та тривалості теплової дії не менше 20 хв;
- аеробна стабілізація шляхом попереднього нагрівання суміші вологого осаду з активним мулом за температури 60 – 65°C протягом 2 годин;
- компостування (з використанням тирси, сухого листя, соломи, торфу та інших водопоглинаючих субстратів) протягом 4 – 5 місяців, із яких 1 – 2 повинні припадати на теплу пору року;
- обробка хімічними реагентами і препаратами [37, 131, 234, 269].

Для знезараження та зневоднення ОСВ широко використовують нейтралізацію технічним негашеним вапном CaO , завдяки чому, крім підвищення лужності ОСВ, відбувається розігрівання маси за рахунок процесу гідратації. Так, під час гасіння 1 моль (56 г) CaO виділяється 65 кДж тепла і зв'язується 18 г води:



Біотермічне компостування також є відносно дешевим та ефективним методом виготовлення добрив на основі ОСВ.

Цей біологічний процес передбачає руйнування органічних речовин мікроорганізмами. Він генерує теплову енергію, яка використовується для випаровування води та підвищення життєдіяльності мікроорганізмів [37, 382].

В Україні компостування здійснюється переважно за допомогою бульдозерів, що ускладнює накопичення органічних добрив. В ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» України проведено дослідження щодо розробки змішувача-аератора [202, 309, 344].

Дослідження показало, що необхідна температура 50 – 60°C для дозрівання маси досягається в зоні вільного доступу повітря, яка простягається на товщину 1,0 – 1,5 м залежно від способу формування купи. Поверхневий шар (0,4 – 0,5 м) охолоджують до температури навколишнього середовища [3, 269]. Сучасні ефективні методи компостування біомаси передбачають свердління по всій товщі бурта, що сприяє змішуванню холодних і гарячих областей, і призводить до втрати енергії. Технологія приготування компосту змішувачем-аератором передбачає пошарове переривання на схилі купи [187, 382].

Вермикомпостування є перспективним у поводженні з твердими побутовими відходами [219, 285]. Це технологічний процес, який передбачає використання дощових черв'яків, таких як *Eisenia foetida* та *Lumbricus rubellus*, для переробки біомаси, в тому числі й ОСВ. Цей процес сприяє біосинтезу гумусу, який зазвичай містить 65 – 75% органічної речовини (на суху масу), 6 – 18% гумінових кислот, 2 – 6% азоту, 0,9 – 6,5% фосфору, 0,2 – 0,5% калію та різноманітні мікроелементи [285, 337].

В Італії, зокрема у провінції Форлі, розроблено цікаву технологію одночасної переробки муніципальних і твердих відходів. Ця технологія передбачає застосування конічної вежі висотою 10 метрів, діаметром 2 метри у верхній частині та 0,5 метра в нижній. Зверху башта завантажується зараженими червами ТПВ, після чого вводять шнек, яким час від часу перемішують відходи для покращення аерації з метою виживання (покращення) життєдіяльності внесеної вермикультури. У неаерованій нижній частині збирають готовий

компост. Цей завод працює безперервно і може переробляти до однієї тонни відходів на добу [103, 366, 395].

У Франції спроектували вермикомпостний завод у формі циліндричної вежі, що складається з 24 піддонів, поставлених один на одного. Кожен піддон діаметром 230 см заповнений субстратом і вермикультурою. Весь процес повністю автоматизований [285, 301].

Метод вермикомпостування також використовують на Капрі (Італія) для перетворення відходів на компост. На ділянці площею 600 м² виробляється приблизно 30 тис. тонн біогумусу з 60 тис. т твердих побутових відходів і 25 тис. т ОСВ [280, 299].

Певний досвід розведення червів накопичений у Великобританії. На Ротамстедській дослідній станції ведуться інтенсивні дослідження у області екології дощових черв'яків, а також використання їх для переробки різних відходів, включаючи ОСВ очисних споруд [103, 366].

Практичний інтерес викликають також способи, де дощових черв'яків утримують на модифікованих деревних стружках, поміщених у заглиблені басейни і зрошуваних стічними водами. Черв'яки перетравлюють органіку, яка осідає на стружках, видаляючи у такий спосіб зі стічних вод [111, 366].

В Італії, Нідерландах, США широко вивчається досвід застосування вермикультури для утилізації побутового сміття, ОСВ в очисних спорудах. Компост на основі ОСВ містить в середньому 65 – 75 % органічної речовини і до 70% гумусу (в перерахунку на суху речовину), азоту – 2 – 6%, фосфору – 0,9 – 6,5%, калію – 0,2 – 0,5 % і низку мікроелементів [62, 279].

Але є два основні обмежувальні фактори у використанні вермикомпостування для переробки ОСВ на добрива – це присутність у них токсичних елементів та патогенної мікрофлори [62]. Дослідження показало, що нерозбавлені відходи з очисних споруд призводять до загибелі вермикультури. Вирішити цю проблему можна шляхом введення добавок до ОСВ у відповідних співвідношеннях, створюючи сприятливіше середовище для цих організмів [191, 401].

При потраплянні у забруднене середовище черв'яки легко накопичують присутні в ньому важкі метали. Існує багато досліджень стосовно мікроелементного складу та акумуляції елементів-токсикантів вермикулярній біомасі. Наприклад, концентрація марганцю в *L. terrestris* навіть на непорушених заповідних територіях може змінюватися залежно від місця збору, коливаючись від 68 до 127 мг/кг сухої маси. Щодо міді, її концентрація може змінюватись у діапазоні 50 до 69 мг/кг, цинку - від 172 до 320 мг/кг, молібдену - від 1,5 до 3,1 мг/кг, а кобальту - від 5,8 до 6,2 мг/кг сухої маси. Вміст заліза в біомасі дощових черв'яків коливається від 200 мг/кг до 1450 мг/кг у *E. Fetida*. Забруднення різко збільшує концентрацію важких металів у тілах черв'яків на порядок, а інколи і на кілька порядків. Насамперед, це стосується свинцю та кадмію. Органічні забруднювачі також інтенсивно акумулюються в організмах дощових черв'яків [46, 303, 401].

Результати досліджень технології вермикомпостування ОСВ доступно у низці робіт. Встановлено зниження концентрації як міцнозв'язаних, так і рухомих форм ВМ. Максимальний вміст ВМ в біомасі черв'яків фіксується вже через 10 днів, а перевищення їх концентрацій сягає $2 \div 8$ разів порівняно з черв'яками, які культивувалися на субстраті з гною ВРХ. Інтенсивність акумуляції ВМ залежить від рівня адаптації черв'яків до перероблюваної сировини. В серії дослідів з твердими відходами міських очисних споруд, з яких готували вихідний субстрат, змішуючи їх з соломом та пташиним послідом, через 4 – 5 місяців популяція хробаків зросла в 30 разів у варіанті дослідів із співвідношенням складових компосту 35 : 25 : 45, а у варіанті співвідношення 20 : 10 : 70 – лише в 7 разів [35, 150, 229].

Потенціал вермикультури як способу зменшення популяції патогенних мікроорганізмів в лабораторних умовах було продемонстровано Мітчеллом ще в 1978 р. [103, 232, 304]. Але, для одержання статусу легітимного методу знезараження ОСВ, цей метод повинен був пройти пілотні та широкомасштабні випробовування та перетворитися на стандартні операційні процедури (СОП).

В 1997 р. Організація із захисту навколишнього середовища США (USEPA) у співпраці з American Earthworm Company розпочали спільний експеримент у місті Окої штату Флорида [339, 356], за результатами якого планувалося розробити методологію переробки відходів для USEPA. Для того, щоб вермикультивування як альтернативний метод дезінфекції був затверджений USEPA з метою продукту класу «А» США «Process to Further Reduce Pathogens» (PFRP) (найвищий клас вимог), необхідно було досягти тричотирикратного зменшення популяції хвороботворних мікроорганізмів. Саме це забезпечило б впевненість у тому, що продукт, який пройшов через процес вермикомпостування, відповідає всім нормам та вимогам класу «А» (фекальні колі-форми – менше 1000 КУО/1 г сухої маси осаду; *Salmonella sp.* - менше 3 КУО/1 г сухої маси осаду тощо) [309, 318],

Експеримент показав, що черв'яки можуть скоротити популяції патогенних мікроорганізмів, задовольняючи стандартам USEPA, протягом 144 год., причому досягнення стандартних значень концентрації фекальних колі-форм відбувалося за 24 год. (шестикратне зниження концентрації – 98,7%), за *Salmonella sp.* – через 72 год. (тринадцятикратне зниження – 99,9%), за ентеровірусами – через 72 год. (шестикратне зниження – 98,82%), за яйцями гельмінтів – через 144 год. (шестикратне зниження – 98,87%). Таким чином, вермикомпостування продемонструвало достатньо швидке зниження концентрації патогенних організмів, щоб задовольнити вимоги найвищого стандарту класу «А» [57, 332, 400,]. Більше того, одержані результати в 3 – 4 рази перевищували стандартні вимоги. У порівнянні з іншими, значно дорожчими та технологічно складними способами стабілізації ОСВ, метод вермикомпостування є відносно недорогим та потребує мінімуму техніки. Крім цього, у процесі вермикультивування можна обійтися без стадії попереднього компостування, яка призначена здебільшого саме для того, щоб зменшити популяцію патогенних організмів, адже черв'яки самі добре справляються з цією задачею [55, 331, 378].

Для визначення початкової кількості черв'яків, необхідної для переробки ОСВ, прийнято вважати, що на добу вони споживають відходів в 1,5 рази більше їх власної ваги. Отже, тижневе співвідношення біомаси черв'яка до маси ТПВ в ідеалі має складати 1 : 7, оскільки нові порції відходів не можна додавати протягом як мінімум 144 год., щоб досягти максимального пригнічення життєдіяльності патогенних організмів. Ці висновки було підтверджено численними дослідженнями [132, 163, 351, 367].

Низька собівартість переробки ОСВ за допомогою вермикультивування та вермикомпостування забезпечить високу економічну ефективність у разі використання як нетрадиційних удобрювальних композицій. Одержаний вермикомпост, після встановлення класу токсичності згідно вимог, можна використовувати для покращення якості ґрунту, під технічні, кормові культури та зелені насадження [112, 165, 251, 357].

Компости із ОСВ застосовують для удобрення земель, які відводяться під деревно-кущові насадження, парки, довголітні окультурені пасовища та сіножаті, для випадків повторного залуження, під кормові, силосні, технічні культури, а також під пар і рекультивацію порушених ґрунтів.

1.3 Підготовка осаду стічних вод для внесення під енергетичні культури та ефективність його застосування

Використання ОСВ як добрива може бути дозволено після його знезараження одним із способів у відповідності до діючих санітарних норм. Осад може зберігатися в різних формах, що залежить від використовуваної технології. Це рідкий стан з вмістом води від 2 до 96% або чи сипкий з вмістом води в діапазоні від 50 до 70%. Крім цього, його можна використовувати для компостування, внесення у торф, соломі, гній, деревину та інші органічні відходи [25, 31, 40, 346, 395].

На ділянках, призначених для удобрення осадом, до його внесення повинно бути проведено агрохімічне обстеження ґрунтів за наступними

показниками: рН, вміст рухомих форм калію та важких металів (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn). Обстеження проводяться методами, загальноприйнятими в агрохімічній службі [186, 336, 369].

Заборонено внесення ОСВ у водоохоронних та заповідних зонах, поверхнево у лісах та лісопарках, у сильно забрудненому ґрунті важкими металами. На сіножатях та пасовищах внесення осадів дозволяється лише у процесі перезалуження (під оранку) [43, 56, 184, 376].

ОСВ можна класифікувати як органо-мінеральні або органічні добрива, схожі на органо-мінеральні компости, підстилку або безпідстилковий (рідкий) гній [39, 145, 355, 376].

Для визначення поживної цінності у кожній партії осадів, однорідній за своїм походженням, повинні бути визначені: pH_{KCl} , вміст сухої речовини, вміст органічної речовини, зольність, вміст загального та мінерального (нітратного $N-NO_3^-$ та амонійного $N-NH_4^+$) азоту, вміст загального та рухомого фосфору (у перерахунку на P_2O_5), вміст загального калію (у перерахунку на K_2O), вміст загального кальцію (у перерахунку на CaO) [99, 328, 389].

Нормативні вимоги до ОСВ вказано в нормативах підприємств, які переробляють сільськогосподарську продукцію і містять, як правило, менше важких металів, ніж осади міських очисних споруд [87, 278, 405].

З метою попередження небезпеки забруднення ґрунтів, продукції та довкілля важкими металами ОСВ, призначені для удобрення, повинні обов'язково аналізуватися на вміст важких металів (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn) [120, 229].

Хімічний аналіз вмісту поживних компонентів та важких металів в осадах проводить організація, що є відповідальною за їх реалізацію на добрива, а його результати передають споживачеві у вигляді супроводжувального документу (сертифікату) [76, 245, 328].

Норми внесення ОСВ залежать від їхньої цінності як добрива та концентрації важких металів у ґрунтах і осадах [11, 268]. Забороняється використовувати для нанесення осадів, якщо вони містять надмірну кількість

важких металів, однак, якщо стандартизовані межі перевищено, дозволяється створювати компости, поєднуючи осади з іншими матеріалами, такими як торф, гній і рослинні залишки. Це допомагає знизити рівень важких металів до прийняттого рівня [44, 382].

Фактором, який обмежує норму внесення осадів за вмістом поживних компонентів, є вміст в них загального та мінерального азоту. Не допускається внесення загального азоту з осадами більше 300 кг на га, в тому числі мінерального азоту, що перевищує річний виніс врожаєм культури, під яку вноситься осад [190, 351].

Враховуючи великий науково-виробничий досвід, на землях середнього та важкого гранулометричного складу рекомендовано обмежити внесення твердих промислових і побутових відходів не більше 10 т на гектар сухої маси ОСВ. Це можна робити як у чистому вигляді, так і в складі компостів, з інтервалом між застосуваннями не менше 5 років. На легких супіщаних і супіщаних ґрунтах рекомендована норма внесення добрив обмежена 7 т на гектар з інтервалом між внесеннями не менше 3 років [239, 275].

Підвищені норми (до 30 т/га сухої речовини) осади промислово-побутових стічних вод та стоків харчової промисловості застосовують для підживлення земель, не забруднених важкими металами, та тих, які відводяться для дерево-кущових насаджень, розсадників, парків, під сіножаті під час рекультивації земель [278].

Внесення осадів на торфових ґрунтах не рекомендовано з агрономічних міркувань [103]. Заборонене внесення осаду і компостів з них на ґрунтах з показником pH_{KCl} нижче 5,5 без їх попереднього вапнування, якщо вміст кальцію у осаді або компості не забезпечує підтримання pH ґрунту на рівні 5,5 та вище [280, 307].

Зберігання та компостування осадів дозволяється проводити на ділянках в безпосередній близькості до ділянок, де вони будуть вноситися [103].

Для внесення твердих та рідких осадів застосовують машини та технології, розроблені для застосування відповідно твердих та рідких органічних добрив.

Осад вносять на поле безпосередньо перед його оранкою відвальними плугами [161, 164, 269].

Застосування ОСВ або компостів та інших органічних або мінеральних добрив під сільськогосподарські культури, виходячи з регіональних технологій вирощування, може здійснюватися одночасно без будь-яких винятків. За таких умов потрібно враховувати кількість елементів, які надходять у ґрунт з осадами. Особливу увагу слід звертати на надходження у ґрунт фосфору, з огляду на його значні концентрації у багатьох різновидах осадів [99, 195, 330].

Виходячи з вимог ДСТУ 8727:2017, ОСВ, які використовують для внесення добрив, повинні відповідати нормам, встановленим у ДСТУ 7369:2013, і мати позитивний висновок відповідних державних служб. Відповідно до Закону України «Про охорону земель» необроблені ОСВ можна використовувати для удобрення ґрунтів, але існують обмеження, визначені статтею 39 цього Закону. Під час підготовки мулу для удобрення ґрунту обов'язкове знезараження та просушування мулу. Дозування мулу, що вноситься в ґрунт як добриво, визначається за допомогою спеціальних розрахунків [127, 283]. Забороняється використання ОСВ для удобрення ґрунту на територіях, де концентрація важких металів у ґрунті перевищує гранично допустимі значення [56, 381]. Існують певні обмеження щодо використання ОСВ: заборонене використання на пасовищах під час випасу; для кормових культур менш, ніж за місяць до збирання врожаю; для овочевих і плодових культур, які мають безпосередній контакт із ґрунтом не менше десяти місяців до та під час збирання врожаю; для лікарських трав або пряних рослин [191, 402].

Для забезпечення ефективного використання ОСВ на кислих ґрунтах з рН водної витяжки нижче 6 важливо зменшити кількість внесеного осаду. Це коригування враховує вищу рухливість солей важких металів.

Під час проведення аналізу ОСВ та ґрунту відбір проб проводиться згідно з рекомендаціями ДСТУ 4287:2004 "Якість ґрунту. Відбір проб" [198, 390]. Для підприємств, які використовують ОСВ для удобрення ґрунту з міських очисних споруд, необхідно реєструвати та зберігати таку інформацію протягом 10 років:

- загальна кількість ОСВ, що утворилися в процесі очищення стічних вод;
- кількість ОСВ, що була використана з метою удобрення ґрунтів;
- склад та властивості ОСВ за показниками, що нормуються ДСТУ 7369:2013;
- технологія обробки ОСВ перед їх використанням з метою удобрення ґрунтів;
- найменування та місцезнаходження підприємства чи установи, що використала ОСВ для удобрення ґрунтів [260, 199, 267].

Користувачі фіксують та зберігають протягом 5 років відомості про місцезнаходження полів, на яких використовували ОСВ з метою удобрення.

ОСВ як добрива можна застосовувати підставі дозволу, виданого підприємством централізованого водовідведення, на очисних спорудах якого підготовлено ОСВ, та за умови дотримання нормативів ГДК [149, 371].

Орган виконавчої влади, який відповідає за реалізацію державної політики у сфері охорони природи, раціонального використання природних ресурсів та земельної охорони, виконує функцію контролю за виконанням встановлених вимог щодо внесення рослинних відходів сільськогосподарського виробництва (ОСВ) на удобрення та використання земель, удобрених ними [5, 346, 381].

Крім цього, центральний орган виконавчої влади з питань нагляду за агропромисловим комплексом відповідно до Законів України "Про охорону земель" та "Про охорону земель центральним органом виконавчої влади" враховує особливості цієї галузі зберігання ОСВ, призначених для удобрення ґрунтів, здійснюється на критих майданчиках з твердим покриттям [5, 17, 56]. У разі їх зберігання в закритих приміщеннях останні повинні бути обладнано системою вентиляції [103].

З огляду на те, що Україна має значний дефіцит енергетичного балансу, на державному рівні розглядають різні програми енергозаміщення. Одним із можливих варіантів може бути використання фітоенергетичних культур як

джерел відновлювальної енергії, які мають ряд суттєвих переваг [130, 147, 141, 289, 303]:

- невибагливі до ґрунтових умов; оскільки в Україні є близько 4 млн. га занедбаних угідь, вони можуть бути використані без шкоди для товарного агровиробництва;
- за багаторічного беззмінного вирощування покращують структуру ґрунту, збагачують його органічною речовиною;
- відзначаються високими темпами нарощування біомаси;
- багаторічні та не потребують щорічного застосування технологій стосовно сівби і підготовки садивного (насінного матеріалу і сівби);
- можуть безпечно удобрюватися такими видами добрив та органічних і мінеральних відходів, які не можуть бути застосовані для вирощування продовольчих культур.

До енергетичних культур відносять ті рослини, які вирощують з метою одержання твердого, рідкого чи газоподібного біопалива. Асортимент таких видів рослин постійно розширюється [89, 278, 403].

Серед широко використовуваних і перспективних для вирощування в Україні енергетичних культур є верба енергетична, світчґрас, цукровий буряк, цукрове сорго, міскантус та інші [92 – 94, 400]. За даними Міністерства аграрної політики України, вирощування плантацій з енергетичної біомаси допомагає запобігти ерозії ґрунтів і позитивно впливає на довкілля. Під час спалювання біомаси на енергетичних установках вуглекислий газ, який був поглинений рослиною під час її росту, викидається в атмосферу, не порушуючи балансу парникових газів [96, 101, 334].

Серед областей України найбільші площі придатних для вирощування енергокультур земель розташовано в АР Крим (737 тис. га), Житомирській (730 тис. га) та Чернігівській (546 тис. га) областях. Значні площі можна виділити під ці культури в Київській (417 тис.), Херсонській (396 тис.), Львівській (382 тис.), Запорізькій й Луганській (368 тис.), Одеській (317 тис.), Рівненській (123 тис. га) та Івано - Франківській (110 тис.) областях [196, 209, 341].

Як уже зазначалося, найперспективнішими енергетичними культурами в Україні є ціла низка видів.

Верба енергетична – найрозповсюдженіша у світі енергетична культура. Причиною цього є те, що генотип верби дуже різноманітний і порівняний з рисом [179 – 182, 196, 405]. Це генетичне багатство дає змогу виводити нові сорти та гібриди для різних потреб. Експерти припускають, що верба може давати 10 – 15 тонн сухої маси з гектара, але за оптимальних умов вирощування, кліматичних і ґрунтових сприятливих умов та відповідного рівня удобрення її продуктивність може досягати 30 – 40 тонн сухої маси з гектара щорічно. Така продуктивність перевершує продуктивність традиційних лісових насаджень у вражаючих 14 разів [146, 148, 157, 178, 240]. В принципі, збір біомаси можна проводити щорічно, проте економічно більш вигідно робити це раз на три роки. Продуктивний період ділянок верби енергетичної може сягати 20 – 25 років. Верба – морозостійка культура, добре переносить весняні та осінні підтоплення [23, 45, 89, 133]. Завдяки добре розвинутій кореневій системі може рости як на заболочених, так і на мінеральних, піщаних і супіщаних, суглинкових ґрунтах. Невибагливість і легкість у розмноженні роблять її перспективною культурою на всій території України, особливо, в умовах достанього і надмірного зволоження [68, 69, 145, 148, 377].

Земляна груша або Топінамбур (Helianthus tuberosus) – багаторічна рослина з родини айстрових, яку вирощують як харчову культуру впродовж багатьох століть. Листя топінамбура нагадує соняшникове, але меншого розміру. На підземних стеблах, які називаються столонами, рослина утворює бульби, придатні для вживання в їжу. Топінамбур має високу стійкість до морозів і посухи, що зумовлює його екологічну пластичність і витривалість до несприятливих умов вирощування. Він може давати значну кількість бульб і надземної біомаси незалежно від типу ґрунту, особливо в районах зі сприятливими агрофізичними умовами [26, 30, 31, 34, 38, 333]. Однак він погано росте на кислих або засолених ґрунтах, і його врожайність можна значно підвищити шляхом додавання вапна. Рослина може давати від 20 до 30 бульб,

вагою 10 – 50 г, а іноді і до 120 г. За належного догляду топінамбур може забезпечити стабільні високі врожаї понад 10 років за беззмінного вирощування. Однак, якщо за ним не доглядати, він може здичавіти і стати малопродуктивним. Для забезпечення високої врожайності необхідно вносити органічні добрива, з мінімальним внесенням 40 т/га під оранку, а також 60 – 90 кг/га фосфору і калію. Навесні слід вносити азотні добрива в нормі 60 – 90 кг діючої речовини на гектар. До переліку сортів, придатних для поширення в Україні, включено 5 сортів топінамбура (Дієтичний, Львівський, Медовик, Подільський 94, Фіолет київський та 1 гібрид) [89, 299, 403].

Біоенергетичні властивості топінамбура характеризуються такими показниками: середній вихід етанолу з 1 т бульб – 80 – 90 л, приблизно як з картоплі або зерна, проте його собівартість значно нижча. Наземна частина топінамбура, може бути використана для виробництва біоетанолу. Незважаючи на потенційну врожайність біомаси топінамбура, що може досягати 200 тонн/гектар для стебел і 120 тонн/гектар для бульб, середня вирощувана кількість в Україні обмежується в межах 15–30 тонн/гектар [47, 56, 89, 123, 345]. Це обмеження вирощуваної кількості визначає реальний потенціал використання топінамбура для виробництва біоетанолу в українських умовах. [44, 56, 89, 123, 345].

Сильфія пронизаноліста (Silphium perfoliatum L.) – багаторічна кормова культура, природно проростає в американських преріях і Канаді. Вперше завезена до Європи як декоративна рослина у 18 столітті, вона успішно культивується в ботанічних садах Чернівецького та Львівського університетів вже понад шість десятиліть [356, 389].

Однією з її чудових характеристик є здатність рости без необхідності пересіву, зберігаючи стабільну врожайність біомаси до 20 років. Завдяки вражаючій врожайності зеленої маси в 100 – 120 тонн з гектара і навіть більше, сильфія виділяється як рослина з високою здатністю до адаптації. Її потенціал продуктивності досягається в межах 15 – 25 років із середнім показником 70 – 100 т/га і більше зеленої маси [67, 368].

Її використовують переважно для виготовлення силосу й вітамінного борошна, проте вона успішно може використовуватися як енергетична культура. Рослина сягає висоти 3 м [82, 251, 404].

Це вологолюбна культура пізнього дозрівання, яка проявляє високу стійкість до холоду. Здатна переносити зимові морози до 30–35 °С, і вона успішно росте на низинних заправних та лучних торфових ґрунтах. Рослина може тимчасово переносити затоплення до 15 днів. Оптимальна реакція ґрунтового розчину – нейтральна. В Україні відомі сорти, такі як Южна 3 і Канадчанка [35, 287, 305].

Для забезпечення оптимального росту та розвитку рослини рекомендується щорічно вносити добрива у наступних пропорціях: N₆₀₋₉₀ P₄₅₋₆₀ K₄₅₋₆₀. У фазі бутонізації – початку цвітіння проводять збір силосу.

Міскантус – це вид багаторічних трав'янистих рослин, який належить до родини злакових і вирізняється процесом фотосинтезу за C4 типом [93, 256, 344].

Існує близько 40 видів міскантуса. Саме ця культура має добре розвинену кореневу систему, яка може досягти глибини 2,5 метра і більше. Завдяки такій розгалуженій кореневій системі міскантус може ефективно використовувати поживні речовини та воду з ґрунту. Стебло рослини надзвичайно міцне і стійке до механічних пошкоджень за рахунок високого вмісту лігніну та целюлози. Рослини міскантуса витривалі, здатні протистояти зимовим опадам і сильним вітрам. У природному середовищі міскантус може виростати до 2 метрів у висоту і вище. Однак важливо зазначити, що міскантус має вищі потреби у воді з середньорічною кількістю опадів, споживаючи близько 700 мм опадів на рік. Однією з ключових переваг міскантусу є його висока ефективність та екологічність. Після чотирьох років вегетації міскантус може накопичувати 15 – 20 т біомаси у ґрунті, що еквівалентно 7,2 – 9,2 т/га вуглецю [106, 122, 142, 143, 170, 344, 404].

Тривалість життя плантації триває близько 20 років, а комерційне вирощування триває близько 15 років. Низькі операційні витрати, пов'язані з вирощуванням цієї культури, відкривають численні можливості для виробництва

твердого палива. Щорічний збір біомаси можна проводити за допомогою звичайних кормозбірних комбайнів, а отриману масу можна використовувати для виробництва тепла або переробляти на паливні брикети чи пелети [245, 292, 301, 386].

Рекомендовано вирощувати цю культуру на малопродуктивних ґрунтах, непридатних для вирощування інших культур. Теплоутворювальна здатність міскантуса становить 17 МДж/кг (сухомаси), а вміст золи – 2,7%. Дослідження, проведені в Греції, показали, що за сприятливих кліматичних умов (не значно сухе літо) врожайність може досягати до 28 – 30 т/га сухої маси і може вегетувати впродовж 30 років. Найкращі результати були досягнуті за густоти насаджень 10 тис. і більше саджанців на гектар і внесенні 50 кг/га азотних добрив. Завдяки високому вмісту целюлози та лігніну міскантус також є цінною сировиною у виробництві будівельних матеріалів, целюлозно-паперової промисловості та сільському господарстві. Виробничі витрати на вирощування міскантуса в різних країнах Європи коливаються від 35 до 105 євро за тону сухої речовини [28, 79, 99 - 101, 177, 406].

Світчграс або просо лозоподібне – багаторічна злакова культура. Зростає на всіх типах ґрунтів, маловимогливий до вологості та поживних речовин у ґрунті, стійкий до шкідників і хвороб. Корені можуть сягати 2 м у глибину. Добре переносить посуху. Може рости на одному місці до 15 – 20 років. Завдяки низьким витратам і мінімальним ризикам вирощування не потребує значних витрат на створення та підтримку насаджень, забезпечуючи високі врожаї біомаси. Врожайність в перший рік незначна, і поступово збільшується з 5 – 6 т/га в перший рік до 10 – 12 т/га на другий та 18 – 20 т/га на третій рік вирощування. Невисока зольність (4,2%) у сухій біомасі робить культуру придатною до вирощування на схилах. Час збирання впливає на вихід біомаси і якість сировини. Якщо збір врожаю відкласти до лютого-березня наступного року, вихід біомаси через втрати може знижуватися до 40% [116, 299, 318].

Водночас за зимовий період із біомаси вилугується частина калію і хлору, що зумовлює зниження викидів шкідливих часток під час її спалювання.

Висота зрізування під час збирання має бути не менше ніж 10 – 15 см. Це допомагає підтримувати ефективними точки росту і знижує загрозу проколів шин. Крім цього, така висота стерні ефективніше затримує сніг узимку, в результаті цього зменшується випадання рослин у цей період. Вологість біомаси має становити не більше 15%, що гарантує високу якість сировини та дає змогу обійтися без сушіння у процесі її гранулювання. Гранули виділяють менше забруднюючих речовин, ніж спалювання вугілля або природного газу. У процесі сушіння біомаси проса витрачається менше енергії, ніж для деревини, а під час згорання паливна маса світчграсу не коксується. Зібрану біомасу можна також зберігати у великих круглих або прямокутної форми тюках (вважаються простіші в транспортуванні та обігу), які зручні для спалювання у спеціальних котлах. Тюки слід зберігати в сухому приміщенні або під накриттям, бажано на піддонах. У посушливих районах просо можна зберігати навіть просто неба [90, 182, 353, 405].

Висновки до розділу 1

Проблеми у сфері енергетики та сировини виникають через обмежені обсяги природних ресурсів, з одного боку, та стрімким зростання їх споживання і видобутку, з іншого.

За таких умов екологічно безпечна утилізація ОСВ є економічно вигідною, з огляду на повторне використання ресурсів.

В нашій країні така проблема стосовно мулових полів, наприклад, Бортницької станції аерації, де очищаються стоки міста Києва, без перебільшення, стала загрожувати національній безпеці України. За різними оцінками, на мулових картах накопичено від 5 до 8 млн т ОСВ, які забруднюють поверхневі та підземні води, повітря, ґрунтовий покрив, займають все більше площі земель навколо міста. Така тенденція спостерігалася практично в усіх межах нашої країни, що зумовлює необхідність пошуку раціональних шляхів

використання ОСВ, його екологічно безпечної утилізації, в тому числі і в аграрній сфері.

З іншого боку, інтенсивні технології вирощування продукції рослинництва призводять до деградації ґрунтового покриву, стрімкого зниження вмісту органічної речовини в ґрунті, мінеральних поживних елементів, джерелом яких може бути ОСВ, багатий на поживні елементи та органічні сполуки.

Також все ближчою стає загроза різкого дефіциту енергетичних ресурсів в Україні, більшість із яких імпортується.

Такі обставини зумовлюють необхідність усебічного аналізу хімічного складу ОСВ комунального господарства, вивчення можливостей та екологічної загрози у випадку використання в агровиробництві, зокрема в фітоенергетиці, яка розглядається багатьма дослідниками як один із перспективних напрямів розвитку відновлювальної енергетики в Україні.

Застосування ОСВ під енергетичні культури є перспективним напрямом його утилізації, однак потребує усебічного вивчення його ефективності та екологічні загрози, які можуть виникати в процесі використання. Це активізує проведення наукових досліджень у межах предмету дисертаційної роботи. Основні наукові результати розділу проаналізовані авторкою у працях [95 – 102, 48, 261, 277].

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Одним з ефективних методів утилізації ОСВ є можливість його трансформації в комплексне добриво під енергетичні та сільськогосподарські культури. Враховуючи хімічний склад ОСВ, важливо розробити оптимально ефективні та екологічно безпечні технології його застосування у фітоенергетиці. Для вивчення ефективності внесення під енергетичні культури (верба енергетична (*Salix Viminalis L.*), міскантус гігантський «Осінній зорецвіт» (*Miscanthus X giganteus*), сільфія пронизанолиста (*Silphium perfoliatum L.*), світчграс сорту «Морозко» (*Panicum Virgatum L.*), топінамбур сорту «Львівський» (*Helianthus tuberosus L.*)) [95, 96].

ОСВ та компостів, виготовлених на його основі, проведені польові дослідження на території с. Ценжів Ямницької сільської об'єднаної територіальної громади Івано-Франківської області та на колекційно-дослідному полі Івано-Франківського фахового коледжу Львівського національного університету природокористування (с. Чукалівка Івано-Франківської міської ради) впродовж 2016 – 2022 років.

2.1 Програма досліджень і схеми польових дослідів

Програмою досліджень було передбачено встановити еколого-агрохімічну ефективність застосування ОСВ та компостів на їх основі з органічними наповнювачами як добрива під енергетичні культури (верба енергетична, міскантус гігантський, сільфія пронизанолиста, світчграс, топінамбур на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття та впливу на екологічний стан ґрунтового покриву, а також хімічний склад і продуктивність біомаси вирощуваних культур та загалом оцінити доцільність використання як добрива

під енергетичні культури. Завдання досліджень передбачали вивчення екологічної безпечності та агрохімічної ефективності застосування ОСВ порівняно з повторним внесенням ОСВ під вербу енергетичну; визначення вмісту і вивчення особливостей трансформації органічних речовин, мікробіологічної активності, токсичності і рівня забруднення важкими металами дерново-підзолистих ґрунтів Передкарпаття при первинному та повторному внесенні ОСВ; встановлення основних закономірностей зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту під впливом первинного та повторного внесення добрив на основі ОСВ та вивчення особливостей накопичення та міграції окремих ВМ за профілем дерново-підзолистого ґрунту, а також їхньої транслокації в органах різних енергетичних культур; дослідження особливостей динаміки продуктивності біомаси досліджуваних фітоенергетичних культур; оцінка агрономічної ефективності внесення різних доз ОСВ і компостів, виготовлених на їхній основі, під різні енергетичні культури, а також екологічні загрози внаслідок їхнього застосування.

Лабораторні дослідження хімічного складу ОСВ комунального господарства м. Івано-Франківська, які використовували в польових дослідках, виконані на виробничій базі КП Івано-Франківська станції аерації ДК «Екотехпром». Перед повторним внесенням ОСВ під вербу енергетичну та закладанням польових дослідів з іншими енергетичними культурами, які вивчали у дослідках у 2015 році, було виготовлено компости:

1. Компост (ОСВ + тирса (3:1));
2. Компост (ОСВ + солома (3:1));
3. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10%.

Компости готували на краю поля, у безпосередній близькості до їхнього внесення. Компостний бурт формували завширшки 4 м і довжиною 5 м. Висота після осідання бурта становила 1,6 – 2,0 м. На органічну підстилку зі соломи вкладали шарами ОСВ завтовшки 30 см і соломі завтовшки 50 см. Співвідношення ОСВ та соломи (тирси) за масою становило – 3 : 1. У третій вид компостів додавали 10% за масою цементного пилу. Зовні бурт вкривали шаром

грунту товщиною близько 30 см. Дозрівали підготовлені компости впродовж чотирьох місяців у літньо-осінній період. Основні показники хімічного складу визначали у кожному виготовленому дослідному зразку компосту [53, 304, 306, 310, 314].

Польові дослідження з визначення еколого-агрохімічної оцінки застосування ОСВ під час повторного його внесення під час вирощування верби енергетичної сорту (*Salix viminalis*) на дерново-підзолистих ґрунтах Івано-Франківської області, а саме, на колекційно-дослідному полі Івано-Франківського фахового коледжу Львівського національного університету природокористування (с. Чукалівка Івано-Франківської міської ради) проводили за такою схемою:

1. Контрольний варіант – без внесення добрив;
2. Мінеральні добрива – $N_{100}P_{100}K_{100}$;
3. ОСВ – 40 т/га;
4. ОСВ – 60 т/га;
5. ОСВ – 80 т/га;
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га;
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га;
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га;
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га;
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10%) – 40 т/га (рис.2.1).



Рис. 2.1. Схема садіння верби енергетичної

Схема садіння верби енергетичної – 0,33 х 0,70 м. Ширина дослідної ділянки – 4,0 м; довжина – 7 м; площа – 28 м². Повторність – триразова, розміщення ділянок – систематичне [52, 53].

Полеві дослідження із міскантусом гігантським (сорту Осінній зорецвіт), сильфією пронизанолистою (сорту Канадчанка), світчграсом (сорту Морозко), та топінамбуром (сорту Львівський) проводили на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття на території с. Ценжів Ямницької сільської об'єднаної територіальної громади Івано-Франківської області.

Варіанти досліду (табл.2.1):

1. Контрольний варіант – без внесення добрив;
2. N₆₀P₆₀K₆₀;
3. N₉₀P₉₀K₉₀;
4. ОСВ – 20 т/га + N₅₀P₅₂K₇₄;
5. ОСВ – 30 т/га + N₃₀P₃₃K₆₆;
6. ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈;
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N₅₀P₁₆K₆₇;
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅.

Всі варіанти дослідів, крім 1 і 2, корегували компенсаційною дозою мінеральних добрив з розрахунку N₉₀P₉₀K₉₀ з урахуванням хімічного складу ОСВ. Таким чином, кількість внесених мінеральних добрив у варіантах 3 – 8 була однаковою. Схема висаджування топінамбура – 0,50 х 0,70 м (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Схема висаджування топінамбура

Повторність – триразова, розміщення ділянок – систематичне.

Ширина дослідної ділянки – 5,0 м; довжина – 7 м; Загальна площа дослідної ділянки – 63,0 м², облікова площа – 35,0 м² [277].

Висаджування посадкового матеріалу проводили вручну, використовували добірні великі бульби топінамбура зі загортанням їх у ґрунт на глибину 8 – 10 см (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Посадковий матеріал

Схема посадки Міскантусу гігантського – 0,50 х 0,70 м. Висаджування ризом проводили вручну із загортанням їх у ґрунт на глибину 10 – 15 см. Ширина дослідної ділянки – 5,0 м; довжина – 7 м. Загальна площа дослідної ділянки – 63,0 м², облікова площа – 35,0 м². Кількість рядів – 10. Кількість ризом у ряді – 10 шт (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Схема висаджування міскантусу гігантського

Схема висівання світчграсу, із міжряддям 0,70 м. Висаджування проводили вручну загортанням їх у ґрунт на глибину 5 – 8 см. Загальна площа дослідної ділянки становила – 63,0 м², облікова площа – 35,0 м² (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Схема висівання світчграсу

Схема висівання Сильфії пронизанолистої (*Silphium perfoliatum* L.), – 0,50 x 0,70 м. Облікова площа ділянки – 35 м², загальна площа дослідної ділянки – 63,0 м². Розміщення ділянок у триразовій повторності, систематичне (рис.2.6).



Рис. 2.6. Схема висаджування сільфії пронизанолистої

Внесення ОСВ під вербу енергетичну відбувалося ранньою весною тільки в міжряддях під заробку мінікультиватором (табл. 2.1). Добрива під міскантус, сільфію пронизанолисту, світчграс, топінамбур вносили перед оранкою ранньою весною під заробку дисковою бороною. Використання дискової борони для обробки ґрунту зорієнтоване на отримання прибутку [306 – 309].

Таблиця 2.1

Схема досліду

у кілограмах на гектар

Внесено в дослідження (варіант) Основне добриво	Внесено з мінеральними добривами			Внесено з органічними добривами ОСВ + солома			Загалом внесено з добривами			Σ NPK
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Без внесення добрив – контрольний	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	60	60	60							180
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	90	90	90				90	90	90	280
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	50	52	74	40	28	16	90	90	90	280
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	30	33	66	60	47	24	90	90	90	280
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	10	14	58	80	66	32	90	90	90	280
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	50	16	67	30	64	23	90	90	90	280
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	30		55	60	90	35	90	90	90	280

Дози добрив розраховували відповідно до вмісту сухої органічної речовини у них.

Для дослідження ефективності відновлення нафтозабруднених ґрунтів використовували дослідні ділянки в Надвірнянському нафтогазоносному районі Південно-Гвіздецького нафтового родовища Івано-Франківської області в с. Битків з 2018 року. Виробничу діяльність на дослідній ділянці було зупинено 45 (амбар 1) і 25 (амбар 2) років перед тим (рис. 2.7 і рис. 2.8).



Рис. 2.7. Схема висаджування верби енергетичної (амбар 1)

Ширина експериментальних ділянок – 5,0 м; довжина – 7,0 м; загальна площа дослідної ділянки – 35 м², облікова – 25 м²; кількість повторень – 3; розміщення ділянок – систематичне.



Рис. 2.8. Схема висаджування топінамбура (амбар 2)

За контрольну область (фонову) обрано площу дослідного поля в межах

300 м від закладання дослідних варіантів (2 – 8):

2. $N_{60}P_{60}K_{60}$;
3. $N_{90}P_{90}K_{90}$;
4. ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$;
5. ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$;
6. ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$;
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$;
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$.

Всі варіанти, крім 1 і 2, з корегуючою дозою мінеральних добрив у розрахунку $N_{90}P_{90}K_{90}$.

У дослідах вносили мінеральні добрива - аміачну селітру, суперфосфат, калійну сіль у відповідних дозах згідно схеми досліджу.

2.2 Характеристика зони та метеорологічні умови в роки проведення досліджень

Івано-Франківська область розташована у західній частині України і межує з областями Львівською, Тернопільською, Чернівецькою та Закарпатською. На півдні область має кордон завдовжки 50 км, який є державним кордоном України з Румунією.

Регіону властиве різноманіття ґрунтового покриву і природних ресурсів, проте на зазначеній частині території поширені дерново-підзолисто-глейові та дернові ґрунти – безструктурні, перенасичені вологою з умістом гумусу 1 – 2% [45, 87].

Регіон відноситься до територій з низькою землезабезпеченістю, де середня площа на одного мешканця складає 1,0 га, у тому числі 0,45 га сільськогосподарських угідь, з них лише 0,027 га – ріллі [309].

Однак можливості для розширення сільськогосподарських угідь, зокрема ріллі, в області вичерпані. Завдяки будівництву житла та розвитку рекреаційної

інфраструктури площа сільськогосподарських угідь стрімко зменшується. За останні 10 років площа забудованих територій збільшилася на 6,4 тис. га [110]. Цей тенденційний розвиток свідчить про загальне зростання потреб у харчових продуктах та сировині, що призводить до інтенсивного використання земельних ресурсів. Країна в цілому стикається з проблемою деградації та малопродуктивних сільськогосподарських угідь в розмірах від 1 до 4 млн га [202]. Така сама тенденція спостерігається і в Івано-Франківській області, де ці землі часто залишаються невикористаними або заростають чагарниками. Однак, ці території можуть стати підґрунтям для вирощування енергетичних культур, що не вимагають високої якості ґрунту, та, крім того, сприяють відновленню родючості, одночасно вирішуючи проблеми ерозії, зсувів, карсту та підтоплень. Такий підхід сприяє збереженню та охороні земель від руйнувань, засмічення та забруднення, а також сприяє відтворенню екологічно стабілізуючих угідь, таких як ліси, сіножаті, пасовища. Польові досліді закладені на двох дослідних ділянках, територіально віддалених в межах 23 км одна від одної, висота над рівнем моря орієнтовно 250 – 300 м [308 – 309].

Перша ділянка розміщена на території дослідного поля Івано-Франківського коледжу ЛНУП в селі Чукалівка Івано-Франківської територіальної громади. Цей район входить до складу Передгірного агрокліматичного району Івано-Франківської області. Ґрунти експериментального поля є середньо-глинистими дерново-підзолистими ґрунтами. Це дає можливість припустити, що польові дослідження проводили в типових ґрунтових умовах для зони.

Ці ґрунти сформувалися в помірному теплому кліматі на супісках - пухкій піщано-глинистій осадовій гірській породі, близько до підземних вод під мішаними лісами [34, 56]. Вони відзначаються низьким вмістом гумусу та білястим промивним горизонтом, а родючість їх оцінюється від 22 до 43 балів за 100-бальною шкалою [57, 89, 114]. Ці ґрунти вимагають осушення та внесення добрив.

Склад і властивості дерново-підзолистих ґрунтів пов'язані із ступенем розвитку підзолистого процесу в профілі. Гранулометричний та хімічний склад змінюються вздовж профілю, а вміст гумусу є незначним (2–3% в НЕ). Гумусовий профіль характеризується регресивно-акумулятивними властивостями, а тип гумусу визначається як гуматно-фульватний ($C_{гк} : C_{фк} = 0,7–0,9$). Фізико-хімічні властивості залежать від гранулометричного складу, породи та ступеня розвитку підзолистого процесу.

Ємність поглиблення є низькою (5–15 мг-екв/100 г ґрунту), ґрунти мають кислу реакцію ($pH = 3,5–5,5$), вміст суми обмінних катіонів менше 75%, і типовий склад обмінних катіонів включає Ca та Mg. Ґрунти бідні на азот і фосфор. Фізичні та водно-фізичні властивості значно варіюються вздовж профілю: щільність та максимальна гігроскопічність досягають свого піку в І-горизонті, а пористість та аерація є мінімальними; структура ґрунту виявляється нестійкою [233].

Дерново-підзолистий ґрунт дослідного поля є типовим для Передкарпаття, а його генетичні горизонти відзначаються такими морфологічними ознаками:

НЕ – 0 – 20 см – гумусно-елювіальний горизонт, орний шар. Темнувато-сірий з сизим і вохристим відтінком, після підсихання – білястий, з дрібними залізисто-марганцевими конкреціями і вохристими цятками, вологий, дрібногоріхувато-грудкуватий, середньосуглинковий, збагачений білястою присипкою SiO_2 , перехід до наступного горизонту добре помітний;

Е – 20 – 27 см – елювіальний горизонт підорний, ясно-сіро-бурий, з великою кількістю вохристих цяток і примазок, ущільнений, призмovidний, середньосуглинковий, перехід до наступного горизонту поступовий;

І – 27 – 42 см – ілювіальний горизонт червоно-бурого кольору, мармуроподібний, ущільнений, призматичний, з колоїдним лакуванням та глянцеvim блиском на поверхні агрегатних часточок, важкосуглинковий;

Р – 42 – 110 см – і глибше – материнська порода – сизувато-бурий мозаїчний, з вохристими примазками, призматичний, мокрий, на гранях виступає вода.

Друга ділянка територіально розміщена в с. Майдан (ст. Ценжів). Ґрунти дослідної ділянки дерново-підзолисті поверхнево-оглеєні суглинкові і становлять близько 9% орних ґрунтів області. Їх материнською породою є делювіальні суглинки.

Генетичні горизонти відзначаються такими морфологічними ознаками:

He – 0 – 19 см – гумусовий слабоелювійований горизонт, коричнево-сірий, порохувато-грудкуватий, пухкий, шпаруватий; перехід помітний;

E – 19 – 29 см перехідний горизонт (верхній), каштаново-бурий; грудкувато-зернисто-горіхуватий, пухкий; перехід поступовий;

I – 29 – 45 см – перехідний горизонт (нижній), темнувато-бурий, горіхувато-призматичний, ущільнений, тонкошаруватий; перехід поступовий;

P – 45 – 80 см – і глибше – материнська порода – ґрунтова порода, лес, зверху темнувато-палевий з гумусовими потоками, донизу палевий, багато пухкої білозірки, наявні легкорозчинні солі, друзки гіпсу [74, 76, 314].

Фізико-хімічні та агрохімічні особливості цих ґрунтів визначаються низьким ступенем насиченості основами, високою кислотністю, дуже низьким вмістом рухомих фосфатів, незадовільним азотним режимом і присутністю шкідливого для культурних рослин рухомого алюмінію. Зазначені типи ґрунтів вимагають внесення азотних і фосфорних добрив. Для оптимального розвитку рослин слід віддавати перевагу хімічно та фізіологічно лужним мінеральним добривам.

Загалом, ці ґрунти є сприятливими для вирощування всіх сільськогосподарських культур.

Ріст і розвиток досліджуваних культур значною мірою залежить від погодних умов, які переважають у період вегетації рослин.

Клімат Івано-Франківської області має перехідний характер від помірно теплого, вологого Західноєвропейського до континентального Східноєвропейського. Клімат області помірно-континентальний.

Погода в квітні 2016 року в період закладання польового досліджу перебувала під впливом антициклонної діяльності. Погода цього періоду була хмарною, середня температура повітря $10,8^{\circ}\text{C}$ (додаток Г, табл. Г.1). Максимальна температура повітря знижувалась від $26,7^{\circ}\text{C}$ тепла до $3,2^{\circ}\text{C}$ морозу. Сума опадів за місяць складала 73,5 мм, що становить 136% від норми за місяць. На початку травня встановилась прохолодна та дощова погода. Середньомісячна температура повітря становила $14,0^{\circ}\text{C}$ тепла, максимальна температура підвищувалась до $28,0^{\circ}\text{C}$ тепла. Мінімальна температура повітря знижувалась до $2,1^{\circ}\text{C}$ тепла. Сума опадів за місяць склала 97 мм, що становить 111% від норми (рис. 2.9).

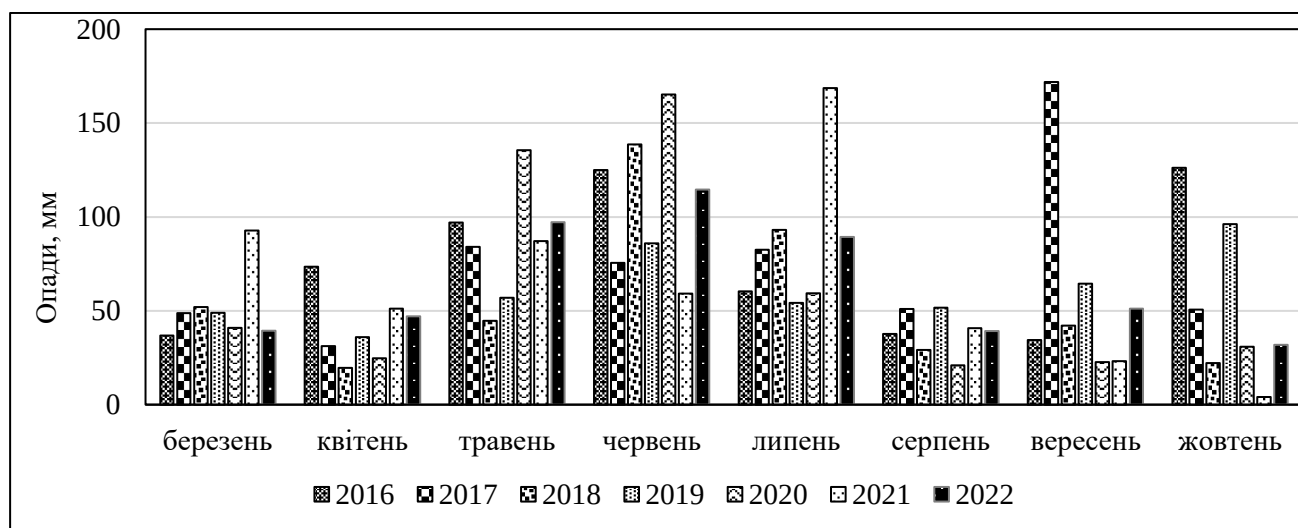


Рис. 2.9. Кількість опадів упродовж вегетаційного періоду за роки досліджень

Протягом усього місяця червня-липня встановилась прохолодна та дощова погода з грозами, часом з градом та посиленням вітру. Максимальна температура повітря підвищувалась до $28,0 - 33,7^{\circ}\text{C}$ тепла. Мінімальна температура повітря знижувалась до $2,1^{\circ}\text{C}$ тепла. За ці місяці випало близько 60,3 – 125,0 мм опадів, що складає 128 – 158% від норми.

Протягом серпня спостерігали нестійку погоду, кількість опадів коливалась в межах 37,7 мм. Середня місячна температура повітря склала $+18,6^{\circ}\text{C}$, що на $1,3^{\circ}\text{C}$ вище норми.

Осінь 2016 року відзначалася підвищеними температурами і пониженим рівнем зволоження. У вересні максимальна температура повітря сягала $30,3^{\circ}\text{C}$ тепла. Мінімальна температура повітря знижувалась до $2,8^{\circ}\text{C}$ тепла. Сума опадів складала 34,4 мм, що становило 65% від норми. Умови атмосферного зволоження за місяць були посушливі та дуже посушливі. Жовтень характеризувався мінливими погодними умовами. Середня температура повітря за місяць становила $+6,7^{\circ}\text{C}$ тепла (рис. 2.10).

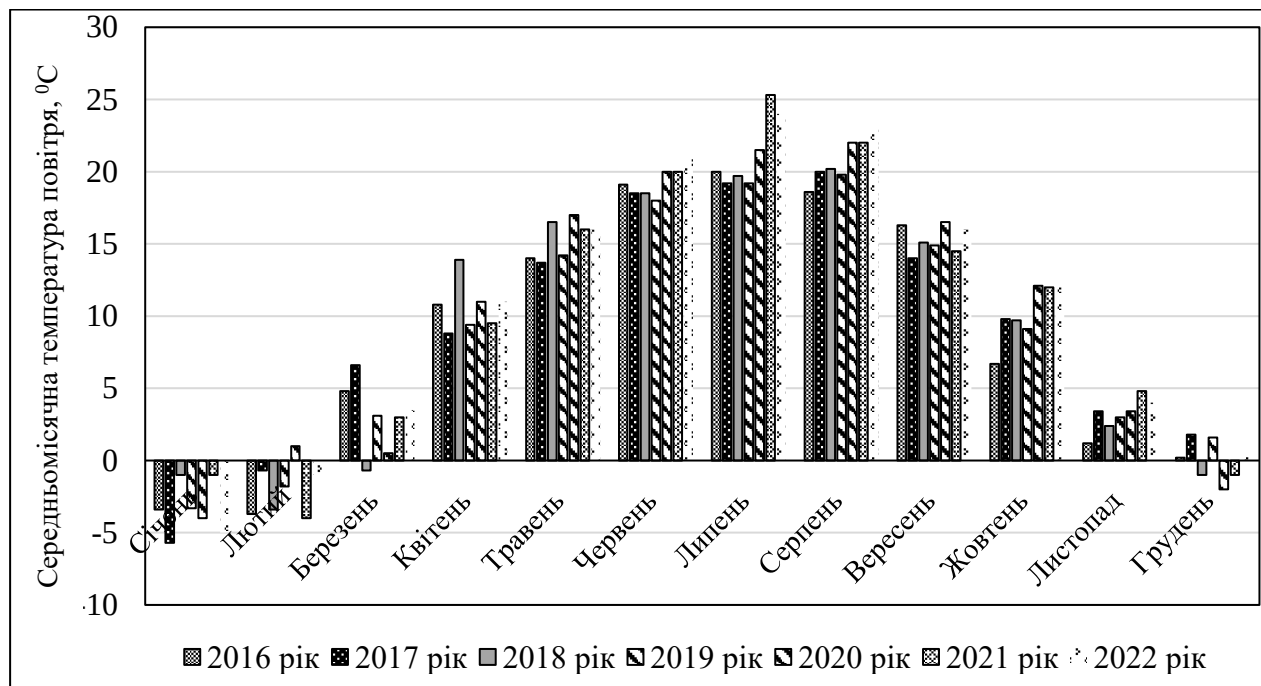


Рис. 2.10. Температура повітря впродовж вегетаційного періоду,
2016 – 2022 роки

Максимальна температура повітря підвищувалась до $+25,9^{\circ}\text{C}$. Мінімальна температура повітря знижувалась до $-3,9^{\circ}\text{C}$. Сума опадів за місяць складала 126,2 мм, що становило 351% від норми.

Середня за місяць листопад температура повітря склала $+1,2^{\circ}\text{C}$. Загальна кількість опадів за місяць становила 55,8 мм, що було близьким до середніх багаторічних значень.

Грудень 2016 року характеризувався теплою, не характерною для зимового періоду погодою. Середня за місяць температура повітря становила - 0,2°C.

З січня 2017 року відбулась суттєва зміна погодних умов. Внаслідок циклічної діяльності та проходження активних фронтів на території області випав сніг. Середня місячна температура повітря становила - 1,0°C морозу, що на 1°C вище норми. За місяць випало 8,1 мм опадів.

У лютому спостерігали суху погоду. Середня місячна температура повітря дорівнювала -0,7°C морозу. Загальна кількість опадів за місяць становила 24,4 мм.

Весняні місяці у 2017 році в Івано-Франківщині почалися з переходом середньодобової температури повітря через 0°C. Протягом березня – травня випало близько 31 – 84 мм опадів, або 58 – 97% від норми (додаток Г, табл. Г.2).

У червні - липні переважала спекотна погода. Загальна кількість опадів становила 82,5 мм, або 79% від норми. Погода серпня була мінливою. Середня за місяць температура повітря становила + 20,0°C, що на 2,7°C вище норми. Загальна кількість опадів за місяць становила 50,9 мм, або 63% від норми.

Осінь 2017 року була доволі теплою та сухою. Максимальна температура у найтепліші дні підвищувалась до + 28,9°C. За місяць вересень випало 171,9 мм опадів, що складало 324% від норми. Жовтень характеризувався мінливими погодними умовами. Мінімальна температура повітря знижувалась до мінус 2,6°C. За місяць випало 50,7 мм опадів, або 141% від норми (додаток Г, табл. Г.2).

Місяць жовтень характеризувався середньомісячною температурою 9,2°C. Максимальна температура повітря підвищувалась до + 25,2°C. Мінімальна температура повітря знижувалась до - 2,6°C.

У листопаді і грудні середня температура повітря досягала мінус 3,4 – 1,8°C. Загальна кількість опадів 43,6 – 47,6 мм.

У січні і лютому 2018 року висота снігового покриву становила близько 2 см. Настання тепла було поступовим. В першій декаді квітня спостерігали

холоднішу, ніж зазвичай, погоду. Перехід середньодобової температури повітря через $+5^{\circ}\text{C}$ відбувся 11 квітня.

Третя декада квітня характеризувалась, в основному, сухою, дуже теплою, в окремі дні жаркою погодою. Максимальна температура повітря підвищувалась до $+28,1^{\circ}\text{C}$.

Тепла та суха погода тривала і протягом травня. Загальна кількість опадів 44,7 мм.

Червень характеризувався нестійкими коливаннями температури та грозовими опадами. Максимальна кількість опадів, що випала протягом місяця – 138,6 мм. Місяць липень характеризувався, в основному, сухою та теплою погодою. Середня температура повітря становила $19,7^{\circ}\text{C}$ тепла.

В місяці серпні та вересні середньомісячна температура коливалась в межах $+15,1 - 20,2^{\circ}\text{C}$. Протягом листопада утримувалась тепла погода.

В грудні спостерігали теплішу ніж зазвичай погоду. Загальна кількість опадів за місяць становила 30 мм.

Вегетаційний період 2020 року розпочався у квітні-місяці. У квітні сума опадів за місяць склала 24,7 мм. Підвищення температури повітря було поступовим. Середня температура за місяць квітень – червень становила $7,3 - 13,2 - 18,8^{\circ}\text{C}$ відповідно, а липень відзначався дещо вищою температурою, яка становила $22,5^{\circ}\text{C}$. В серпні та вересні середньомісячна температура коливалась в межах $20,3 - 14,7^{\circ}\text{C}$ тепла. Протягом жовтня утримувалась тепла погода, яка становила $+8,7^{\circ}\text{C}$. Сума опадів протягом травня та червня залишилася найбільшою за вегетаційний період і становила 135,5 та 165,3 мм. Під кінець першої і на початку другої декади грудня спостерігали невелике зниження температури. В середині першого зимового місяця потеплішало, вдень і вночі збереглися плюсові показники температур повітря.

У січні і лютому 2021 року висота снігового покриву становила близько

2 см. Настання тепла було поступовим. В першій декаді квітня спостерігали холоднішу ніж зазвичай погоду. Перехід середньодобової температури повітря через $+5^{\circ}\text{C}$ відбувся 11 квітня.

Третя декада квітня характеризувалась переважно сухою, дуже теплою, а в окремі дні і жаркою погодою. Максимальна температура повітря підвищувалась до $26,6^{\circ}\text{C}$ тепла.

Тепла та суха погода тривала і протягом травня. Загальна кількість опадів 41,2 мм.

Червень характеризувався нестійкими коливаннями температури та грозовими опадами. Максимальна кількість опадів, що випала протягом місяця, становила 149,3 мм. Місяць липень характеризувався, в основному, сухою та теплою погодою. Середня температура повітря становила $18,3^{\circ}\text{C}$ тепла. В місяці серпні та вересні середньомісячна температура коливалась в межах $+14,6 - 19,6^{\circ}\text{C}$. Протягом листопада утримувалась тепла погода.

В грудні спостерігали теплішу від звичайного погоду. Загальна кількість опадів за місяць становила 35 мм.

У січні 2022 року кількість опадів за місяць склала 24,9 мм.

Згідно середніх багаторічних даних перехід середньодобової температури повітря через $+5^{\circ}\text{C}$ навесні відмічався 18 березня. Настання тепла було поступовим. Середня температура за місяць червень становила $21,0^{\circ}\text{C}$, липень та серпень відзначалися дещо вищою температурою, яка становила $24,0^{\circ}\text{C}$ та $23,0^{\circ}\text{C}$ тепла відповідно.

Отже, в роки проведення досліджень тепловий режим та умови зволоження були неоднаковими. Протягом періоду вегетації і терміну досліджень відбувалися значні коливання в бік надмірного, або недостатнього зволоження, особливо, якщо аналізувати їх розподіл за окремими місяцями року. Але, не зважаючи на певні відмінності, в цілому вони не виходили за межі погодних умов, які характерні для Передкарпаття.

Такі кліматичні особливості років досліджень відбилися на загальному стані насаджень верби енергетичної, міскантуса, світчграса, сільфії пронизанолистої, топінамбура.

Інтенсивний розвиток досліджуваних культур відбувається саме на другий рік після висаджування, саме цього року спостерігали найбільшу кількість опадів. А в наступні роки досліджень загальна кількість опадів зменшилась, проте завдяки глибокій кореневій системі досліджувані культури здатні продовжувати інтенсивний ріст та розвиток, який припадає саме на місяць червень. Це дозволяє ефективно використовувати весняні запаси вологи у ґрунті та засвоювати підґрунтові води, які залягають на незначній глибині.

2.3 Методологія виконання досліджень

Аналіз хімічного складу ОСВ з КП Івано-Франківська станція аерації ДК «Екотехпром» проводили відповідно до загальноприйнятих методик [155, 178, 179]. Усі лабораторні дослідження здійснювали згідно стандартизованих методик: відбирання проб для хімічних аналізів проводили згідно ДСТУ 4287 пошарово до глибини 80 см; для фізико-хімічних аналізів – згідно ДСТУ ISO 11464 [178, 179]; у зразках ґрунту з непорушеною будовою визначали щільність будови згідно ДСТУ ISO 11272; визначення вмісту гумусу в ґрунті – за методом Тюріна в модифікації М.М. Кононової та Н.П. Бельчикової, спалювання за Б.А. Нікітіним (варіант ННЦ ІГА) згідно з МВВ 31-497058-006-2002 (ДСТУ 7855:2015); лабільних форм – згідно з ДСТУ 4732; фракційно-груповий склад гумусу – за методом Пономарьової – Плотникової згідно з ДСТУ 7828:2015; рН – згідно ДСТУ ISO 10390; гідролітичну кислотність – згідно ДСТУ 7537:2014; вміст обмінних катіонів – за МВВ 31-497058-007; вміст загального азоту – згідно ДСТУ 4726, нітратного та амонійного азоту – згідно ДСТУ 4729; рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова згідно ДСТУ 4405; визначення мікроелементів і важких металів проводили за методиками згідно ДСТУ 4770.1

– ДСТУ 4770.9 [180 – 189].

Визначення нітрифікаційної активності згідно ДСТУ 8578:2015; Визначення загальної біологічної активності газохроматичним методом згідно ДСТУ 8644:2016; Визначення чисельності мікроорганізмів у ґрунті методом посіву на тверде (агаризоване) живильне середовище ДСТУ 7847:2015; Визначення загальної біологічної активності згідно ДСТУ 8644:2016 [190 – 193].

Аналіз рослин проводили за стандартними методиками: ДСТУ 4811:2007, ДСТУ ISO 712:2015. Важкі метали та мікроелементи у рослині визначали рентгено-флуоресцентним методом. Результати вимірювання представлені у порядку зростання атомної маси хімічних елементів згідно періодичної таблиці. Якщо хімічний елемент у списку результатів відсутній, тоді його доля у зразку занадто мала (приблизно менше $1/1000000$ за масою). Для оцінки забруднення біомаси рослин за вмістом важких металів використовували загальноприйняті ГДК [389].

Відбирання проб для агрохімічних аналізів проводили за методиками, описаними у [171], пошарово до глибини 80 см. Рівень зміни вмісту біодоступних форм макроелементів у ґрунті оцінювали визначенням показників нітратного і амонійного азоту [79];

Вміст лужногідролізованих сполук азоту визначається шляхом гідролізу 1 моль-екв./л ґрунту розчином NaOH в термостаті за температури $+28\text{ }^{\circ}\text{C}$ у чашці Конвея із герметичною пластмасовою кришкою. Під час цього процесу азот у формі обмінного амонію, вільного і поглиненого аміаку, амідів, аміноцукрів, частково моноамінокислот та інших сполук виділяється з ґрунту у вигляді NH_3 . Цей аміак дифундує у внутрішнє відділення чашки, де він поглинається розчином борної кислоти, і відтак кількісно визначається за допомогою 0.02 моль-екв./л розчину сульфатної кислоти [193, 194].

Визначення рухомих сполук фосфору проводили за методикою Кірсанова у витяжці 0,2М HCl зі співвідношенням ґрунт : екстрагент 1 : 5. Концентрацію фосфору у фільтраті визначали колориметрично аскорбіновим методом,

використовуючи червоний світлофільтр фотометра з довжиною пропускання 660 нм [78]. Вміст обмінних сполук калію визначали полум'яно-фотометричним методом. Метод ґрунтується на вилученні рухомих сполук калію із ґрунту розчином оцтової кислоти концентрацією $C(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,5$ моль/дм³ у відношенням з ґрунту до розчину 1 : 25 та подальшому визначенні калію на полум'яному фотометрі [40, 43, 44].

Хімічний склад досліджували методом рентгено-флуоресцентного аналізу. В основі методу лежить аналіз спектрів флуоресценції елементів випромінених під час адсорбції високо-енергетичного випромінювання. Метод дозволяє отримувати дані про хімічний склад речовини у широкому діапазоні з точністю 1 – 10 ppm. Досліди проводили на прецизійному аналізаторі EXPERT 3L. Об'єм дослідного зразка складав близько 0,5 см³. Для усереднення складу відбирали зразки з трьох різних точок проби. Дослідний зразок поміщали у спеціальний циліндр, дно якого виконано з тонкої світлопроникної плівки. Циліндр з пробкою поміщали на оптичний сенсор, розміщений всередині аналізатора. Після герметичного закриття аналізатора атмосфера навколо зразка автоматично замінюється на гелій та відбувається процес аналізу. Якщо елемента нема у списку результатів, отже, його частка у зразку замала (приблизно менше 1/1000000 за масою). Результати представлені за порядком зростання атомної маси хімічних елементів у періодичній таблиці [43, 44].

Результати досліджень опрацьовували методами математичної статистики за допомогою програм STATISTICA 12.0 for Windows (ліц. ZZS9990000099100363DEMO-L), MathCAD 15 M050 та MS Excel 2010. Первинні матеріали включали дисперсійний аналіз, аналіз за рівняннями лінійної регресії та аналіз на нормальність розподілу.

За результатами еспериментальних досліджень визначали низку розрахункових показників: коефіцієнт біологічного поглинання рослинами ВМ, біогеохімічну активність ґрунту і рослин, коефіцієнт біологічного накопичення ВМ в рослинах і ґрунті, коефіцієнт концентрації у ґрунті і рослинах, коефіцієнт

транслокації ВМ в підземних та надземних органах рослин, індекс внутрішньо-тканинного забруднення ВМ рослин, інтегральний показник забруднення ґрунтового середовища.

Коефіцієнт біологічного поглинання (Coefficient of biological absorption) (Kba) – це відношення вмісту хімічного елемента у золі рослини до його міцнозв'язаних форм вмісту у ґрунті (2.1).

$$Kba = \frac{Lx}{Nx}, \quad (2.1)$$

де Lx – вміст елемента у золі рослини, мг/кг;

Nx – міцнозв'язана форма елемента у ґрунті, мг/кг.

Показник вказує на те, наскільки ефективно рослина поглинає певну форму хімічного елемента (наприклад, ВМ чи токсичні сполуки). Коефіцієнт біологічного поглинання є важливим для визначення ефективності або безпеки певних речовин за взаємодії з рослинами. Він допомагає встановити кількість елемента, яка перейшла з ґрунту в рослини, і дійсно буде поглинено рослиною, а скільки може бути виведено без поглинання.

Для групування ВМ у рядах за інтенсивністю біологічного поглинання використовують п'ять градацій [60, 63].

I група – $Kba - 10n$ і більше – елементи енергійного накопичення;

II група – $Kba - 10-n$ – елементи сильного накопичення;

III група – $Kba - 0,n$ – елементи слабого накопичення і середнього захвату;

IV група – $Kba - 0,0n$ – елементи слабого захвату;

V група – $Kba - 0,00n$ і менше – елементи дуже слабого захвату.

Біогеохімічна активність (Biogeochemical activity) вирощуваної культури – це показник, що є сумою Kba окремих важких металів і вказує на те, як ґрунт, рослина впливає на перетворення та циркуляцію різних хімічних елементів та сполук в екосистемі (2.2).

$$Bga = \sum Kba \quad (2.2)$$

Здатність рослин впливати на біогеохімічні цикли є критично важливим для збалансованої функціонуючої екосистеми. Ці процеси здатні регулювати рівновагу різних хімічних елементів та сполук у природних екосистемах. Біогеохімічна активність виду визначає, як цей вид сприяє цим процесам та як його присутність або відсутність впливає на функціонування екосистеми загалом.

Bga вирощуваної культури розраховували для кількісного виразу загальної здатності виду до концентрації важких металів, в основі розрахунку цього показника лежить загальний ефект накопичення важких металів у золі рослин, що складається з його часткових «активностей» відносно різних хімічних елементів.

Коефіцієнт біологічного накопичення (Kb) – це відношення вмісту хімічного елемента у золі рослини до вмісту його рухомої форми у ґрунті, показник, який вказує на те, наскільки ефективно рослина накопичує певний хімічний елемент чи сполуку з навколишнього середовища (2.3). Цей коефіцієнт використовують для оцінки здатності рослин накопичувати певні речовини. Коефіцієнт біологічного накопичення є особливо важливим під час дослідження токсичних сполук, важких металів, таких як ртуть, свинець, кадмій тощо. Це дозволяє визначити, які види хімічних елементів накопичувалися і як це впливало на екосистему.

Величина коефіцієнта біологічного накопичення залежить від багатьох чинників, таких як вид рослин, норми внесення добрив, характеристики середовища та інші біологічні та хімічні чинники.

$$Kb = \frac{C_{plant}}{C_{soil}}, \quad (2.3)$$

де C_{plant} – вміст елемента у золі рослини, мг/кг;

C_{soil} – вміст рухомої форми елемента у ґрунті, мг/кг.

Для групування важких металів у рядах за інтенсивністю біологічного накопичення використовують п'ять градацій [42 – 45].

I група – $Kb - 30 - 300$ – елементи дуже інтенсивного поглинання;

II група – $Kb - 3 - 30$ – елементи інтенсивного накопичення;

III група – $Kb - 0,3 - 3$ – елементи середнього накопичення;

IV група – $Kb - 0,03 - 0,3$ – елементи слабого накопичення;

V група – $Kb - 0,03$ – елементи дуже слабого накопичення.

Для аналізу змін показників біодоступних форм хімічних елементів порівняно з їх умістом до внесення добрив проводили розрахунки коефіцієнта концентрації (K_c), що визначали як відношення вмісту елемента у ґрунті до його вмісту у ґрунті фоновій території [93 – 99] за формулою:

$$K_c = \frac{C_{i \text{ soil}}}{C_{\text{soil}}}, \quad (2.4)$$

де $C_{i \text{ soil}}$ – вміст елемента у ґрунті, мг/кг;

C_{soil} – вміст елемента у ґрунті фоновій території, мг/кг.

Коефіцієнт рухомості елемента (Element mobility factor) – це відношення вмісту рухомої форми елемента до його міцнозв'язаних форми у ґрунті. Рухомість важких металів – показник, який дає змогу оцінювати можливість трансформації важких металів із міцнозв'язаних форм у доступні для рослин рухомі форми. Розраховували за формулою (2.5) [210, 218].

$$E_{mf} = \frac{Fms}{Fqs}, \quad (2.5)$$

Fms – вміст рухомої форми елемента у ґрунті, мг/кг;

Fqs – вміст міцнозв'язаної форми елемента у ґрунті, мг/кг.

Коефіцієнт переходу важких металів із коренів у надземну частину рослини (Transfer coefficient of heavy metals) розраховують за формулою (2.6):

$$C_{thm} = \frac{C_1}{C_2}, \quad (2.6)$$

де C_1 – вміст елемента у надземній частині рослини, мг/кг;

C_2 – вміст елемента у коренях рослини, мг/кг.

Індекс внутрішньо-тканинного забруднення рослин (Index of intra-tissue pollution) – це відношення вмісту елемента у вегетативному органі або частині рослини до вмісту елемента у вегетативному органі або частині контрольних рослин [261, 277]. Показник, який використовували в дослідженнях для оцінки рівня забруднення рослин певними забруднюючими речовинами, зокрема, важкими металами або іншими токсичними сполуками. Індекс дозволяє оцінити, яка частка забруднюючих хімічних елементів потрапила в тканини, та як це може вплинути на життєдіяльність та здоров'я рослин.

Індекс внутрішньо-тканинного забруднення рослин розрахований на основі аналізу вмісту забруднюючих речовин у різних частинах рослини, таких як листя, стебла, коріння тощо.

Аналіз включав у себе вимірювання концентрації речовин у рослинних тканинах та їх порівняння з допустимими нормами чи зразками контрольних рослин, які не зазнали забруднення.

Індекс внутрішньо-тканинного забруднення рослин розраховували за формулою (2.7) [304 – 307]:

$$I_{(i-tp)} = \frac{L_{X_i}}{L_0} \quad (2.7)$$

де L_{X_i} – вміст елемента у рослині, %;

L_0 – вміст елемента у рослині (контрольний варіант), %.

Коефіцієнти транслокації важких металів із ґрунту у кореневу частину та надземну масу рослин визначають за відношенням концентрації металу у рослинній частині до концентрації рухомої форми металу у ґрунті. Показники, які використовували для оцінки здатності рослин засвоювати важкі метали з ґрунту і нагромаджувати у власних тканинах. Ці коефіцієнти вказують, яку кількість забруднюючих елементів можуть нагромаджувати рослини, та як це впливає на біологічні системи.

Коефіцієнт транслокації корінь-листя (TF – Translocation Factor): визначали, наскільки важкі метали переносяться з кореневої системи рослини в її надземні органи (наприклад, листя). Розраховували його як відношення концентрації елемента у надземній частині рослин до його концентрації в коренях. $TF > 1$ вказує на активну транслокацію металу з коренів у вегетативну масу.

Коефіцієнт транслокації листя - корінь (FT – Foliar Transfer Factor): визначає, наскільки важкі метали концентрувалися у підземних органах рослин порівняно з їх концентрацією у вегетативній масі рослин. Розраховували FT як відношення концентрації металу в коренях до його концентрації в листках. $FT > 1$ вказує на активну транслокацію металу з листків до коренів.

Ці коефіцієнти допомагали встановити, як рослини взаємодіють з важкими металами, як вони накопичуються в їхніх тканинах та як це може впливати на розподіл цих металів в біологічних системах. Крім цього, вони допомагали в оцінці впливу забруднення ВМ навколишнього середовища та були використані для відбору рослин для фітоекстракції або фіторемедіації – методів очищення забруднених природних середовищ за формулою 2.8.

$$C_{FT} = \frac{c_{plant}}{c_{soil}} \quad (2.8)$$

де c_{plant} – концентрація елемента у досліджуваній рослині, %;

c_{soil} – концентрація елемента у досліджуваному варіанті ґрунту, %.

Інтегральний показник забруднення ґрунтового середовища – це комплексний числовий показник, який враховував рівень контамінантів або забруднюючих речовин у ґрунті на певній території. Застосовували для оцінки загальної екологічної якості ґрунтів та порівняння різних об'єктів для моніторингу змін у рівні забруднення ґрунту впродовж певного проміжку часу. Інтегральний показник забруднення ґрунтового середовища включає різні параметри, такі як концентрації важких металів, які можуть впливати на якість ґрунту та його можливе використання.

Інтегральний показник забруднення ґрунтового покриву розраховували за формулою (2.9) [112, 328].

$$IS = n \sum_{n=3} 3 \frac{c_i^1}{c_{\phi i}} + n \sum_{n=3} 3 \frac{c_i^2}{c_{\phi i}} \quad (2.9)$$

де IS – інтегральний показник забруднення ґрунтового покриву;

C_i^1 – концентрація i -ого елемента в ґрунті 1-го класу небезпеки, мг/кг ґрунту;

$C_{\phi i}^1$ – концентрація i -ого елемента в ґрунті 1-го класу небезпеки контрольного варіанта досліджень, %;

n_3 – кількість елементів (ВМ) в ґрунті 1-го класу небезпеки;

C_i^2 – концентрація i -ого елемента в ґрунті 2-го класу небезпеки, мг/кг ґрунту;

$C_{\phi i}^2$ – концентрація i -ого елемента в ґрунті 2-го класу небезпеки контрольного варіанта досліджень, мг/кг ґрунту.

Лабораторні дослідження проводили в науково-дослідній лабораторії моніторингу вод та ґрунтів Дністровського басейнового управління водних ресурсів (Свідоцтво про атестацію № LB 06/18 від 18.02.2018 р.), Лабораторії моніторингу вод Західного регіону Дністровського басейнового управління водних ресурсів (Свідоцтво про акредитацію за № 202265 чинний до 23 вересня 2026 року).

Для оцінки рівня токсичності ґрунту у різних варіантах дослідження пророщували насіння чутливих тест-об'єктів: редиска (*Raphanus sativus*), капуста білоголова (*Brassica oleracea* var. *capitata*), крес-салат (*Lepidium saivum* L.).

Для дослідження обрали тестування зразків ґрунту в умовах термостата за температури $+25^{\circ}\text{C}$. У чашках Петрі на фільтрувальному папері розміщували 1 г подрібненого досліджуваного ґрунту та заливали 5 – 7 мл відстояної кип'яченої водопровідної води. Потім викладали 25 насінин тест-культури. Чашки Петрі поміщали в термостат. Насіння пророщували протягом десяти днів за температури $+20^{\circ}\text{C}$, після чого рослини видаляли з ґрунту і заміряли довжину

коренів. Різниця у рості та розвитку рослин між різними варіантами досліду може вказувати на рівень токсичності ґрунту та його вплив на рослинний ріст. Визначено фітотоксичний ефект у відсотковому співвідношенні до маси рослин, довжини кореня або стебла, кількості пошкоджених рослин або кількості сходів рослин. Виходячи з кількості утвореної рослинної маси, фітотоксичний ефект (Phytotoxic effect) розраховували за формулою (2.10) [43 – 45]:

$$PhE = \frac{M_0 - M_x}{M_0} * 100 \quad (2.10)$$

де M_0 – маса або ростові показники рослин у чашці Петрі з контрольним ґрунтом;

M_x – маса або ростові показники у чашці Петрі з досліджуваним ґрунтом.

Для вивчення біологічної активності ґрунту застосовували аплікаційний метод. Вносили льняну тканину розміром 30х30 см в ґрунт, на глибині 0 – 40 см і визначали швидкість розкладання під впливом ґрунтової мікрофлори та мікрофауни. Це дозволило оцінити інтенсивність розкладання та за його результатами зробити висновки про зміну біологічної активності ґрунту.

Формула (2.11) описує відношення акумульованої врожаєм фітоенергетичних культур валової енергії до енергетичних витрат на виробництво біомаси з одиниці площі.

$$K_{ee} = \frac{E_6}{E_3} \quad (2.11)$$

K_{ee} – коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування фітоенергетичних культур. Цей коефіцієнт відображає, наскільки ефективно вирощуються рослинні культури для виробництва енергії. Він враховує різні етапи вирощування, збирання та переробки біомаси.

E_6 – енергоємність біомаси вирощеного врожаю, вимірюється в МДж/га. Це значення вказує на енергію, яка міститься в одиниці біомаси, зазвичай виражена на площину одного гектара.

Ез – енергетичні затрати на вирощування фітоенергетичних культур, також вимірюються в МДж/га. Це значення описує енергію, яка витрачається на вирощування культур, включаючи всі процеси від підготовки ґрунту до збирання врожаю.

Результат формули (2.12) відображає відношення валової енергії, накопиченої від вирощеного врожаю, до енергетичних затрат на виробництво біомаси.

Величина валової енергії:

$$BE_y = Y \cdot K_c \cdot q_{np}. \quad (2.12)$$

Сукупність енергетичних затрат:

$$\sum Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пт}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{ее}} + Q_{\text{те}} + Q_{\text{вер}}. \quad (2.13)$$

Це може бути використано для оцінки енергетичної ефективності вирощування фітоенергетичних культур та підвищення ефективності процесів виробництва біомаси для енергетичних потреб.

2.4 Фізико-хімічна характеристика ґрунту дослідних ділянок

Івано-Франківська область займає площу 13,9 тис. км², розташована у західній частині України. Територія дослідної ділянки у геоморфологічному відношенні розміщена в межах тераси р. Бистриця Надвірнянська з рівнинною поверхнею. У басейні Бистриці Надвірнянської водоносним є алювіальний галечник з піском та суглинками. Хвиляста поверхня корінних порід зумовлює непостійну товщу алювію у межах басейну, що відбивається на водозбагаченні горизонту [42, 43, 306].

Ґрунтові води на території дослідної ділянки залягають на глибині 1,50 – 3,0 м, їх вплив на характер ґрунтоутворення значний.

Ґрунти мають неглибокий гумусовий горизонт, ненасичені основами, кислі, містять багато сполук рухомого алюмінію, шкідливого для рослин, і мало

доступних для рослин азоту і фосфору, оглеєні. Верхні горизонти перезволожені внаслідок слабкої водопроникності ґрунтів. Дерново-підзолистий глейовий середньосуглинковий ґрунт, на якому було закладено досліди, сформувався на лесоподібних суглинках, які є типовими материнськими породами для умов західної частини України [210, 229, 241].

У наших дослідженнях ґрунт колекційно-дослідного поля в с. Чукалівка Івано - Франківської міської територіальної громади відзначався такими фізико-хімічними показниками (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

**Фізико-хімічні показники ґрунту на території
колекційно - дослідного поля в с. Чукалівка ІФ ОТГ**

Показник, одиниці вимірювань	Глибина відбору зразків, см	
	0 – 20	20 – 40
Гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту	3,26	3,30
Ємність поглинання катіонів, ммоль/100 г ґрунту	11,70	11,75
Сума увібраних основ, ммоль /100 г ґрунту	8,49	8,42
Ступінь насичення основами, %	73,60	70,10
pH_{KCl}	4,8	4,5
Вміст гумусу, %	1,64	1,45
Азот загальний, %	0,07	0,08
Азот лужногідролізований, мг/кг ґрунту	66,40	26,78
Азот мінеральний, мг/кг ґрунту	15,68	17,63
Рухомі сполуки фосфору, мг/кг ґрунту	121,00	99,00
Рухомі сполуки калію, мг/кг ґрунту	126,00	118,00

Показники гідролітичної кислотності та ємність поглинання катіонів зростали за профілем ґрунту (0 – 40 см) від 3,26 до 3,30 ммоль/100 г та від 11,70

до 11,75 ммоль/100 г відповідно на території дослідної ділянки. Проте, показники сума увібраних основ та ступінь насичення основами залишалися підвищеними в орному шарі ґрунту (0 – 20 см) та за профілем ґрунту (20 – 40) зменшувалися на 0,07 ммоль /100 г ґрунту та на 3,5% відповідно.

Вміст pH_{KCl} в орному шарі (0 – 20 см) склав 4,8, що на 0,3 більше, ніж в підорному шарі ґрунту. Показник лужногідролізованого азоту зменшувався у напрямку від орного до підорного шару ґрунту на 39,62 мг/кг ґрунту і становив 26,78 мг/кг ґрунту на глибині 20 – 40 см. Показник загального азоту за нашими дослідженнями становив 0,09 в орному шарі (0 – 20 см) та 0,08 в підорному шарі (20 – 40 см) ґрунту.

Рухомі сполуки фосфору та калію в межах дослідної ділянки рівні 121,00 та 126,00 мг/кг ґрунту на глибині 0 – 20 см відповідно, та 99,00 та 118,00 мг/кг ґрунту відповідно на глибині 20 – 40 см.

Родючість ґрунту формується під час його утворення та постійно змінюється під впливом біохімічних, фізичних і фізико-хімічних процесів, що залежать від різноманітних факторів, таких як рослинність, клімат, агротехніка та інші.

Основні визначальні чинники для родючості ґрунту включають належний рівень вологості та поживних речовин, оптимальний тепловий та повітряний режими, а також структуру ґрунту, мінералізацію органічних сполук і вплив мікроорганізмів. Збереження і підвищення родючості ґрунту досягається шляхом введення відповідних кількостей органічних і мінеральних добрив. Ці добрива значно впливають на фізико-хімічні та агрохімічні властивості ґрунту, зокрема його поживний режим [45, 56, 312].

Дослідження і аналіз методів збереження та підвищення родючості ґрунту в цьому розділі свідчать про важливість та актуальність цієї теми для природокористування взагалі. Родючість ґрунту є ключовим фактором для досягнення високих врожаїв та забезпечення продуктивності енергетичних культур. Ґрунт дослідного поля в с. Ценжів Ямницької ОТГ Івано-Франківської

області відзначався такими фізико-хімічними та агрохімічними показниками (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Фізико-хімічні показники ґрунту на території с. Ценжів

Показник, одиниці вимірювань	Глибина відбору зразків, см	
	0 – 20	20 – 40
Гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту	3,10	3,30
Ємність поглинання катіонів, ммоль/100 г ґрунту	11,70	11,75
Сума увібраних основ, ммоль /100 г ґрунту	8,49	8,42
Ступінь насичення основами, %	73,6	70,1
pH_{KCl}	4,8	4,5
Вміст гумусу, %	2,00	1,85
Азот загальний, %	0,07	0,08
Азот лужногідролізований, мг/кг ґрунту	67,00	56,78
Азот мінеральний, мг/кг ґрунту	17,68	
Рухомі сполуки фосфору P_2O_5 , мг/кг ґрунту	64,00	56,00
Рухомі сполуки калію K_2O , мг/кг ґрунту	41,10	29,00

Показники гідролітичної кислотності та ємність поглинання катіонів зростали вздовж профілю ґрунту і відповідно на глибині 20 – 40 см рівні 3,30 ммоль/100 г та 11,75 ммоль/100 г, на території дослідної ділянки. Показники дослідження ґрунту дещо збігаються із показниками іншої дослідної ділянки, а саме pH_{KCl} , сума увібраних основ та ємність поглинання катіонів, проте слід звернути увагу, що вміст гумусу на даній території більший і становить в межах 2,0 – 1,85 вздовж профілю ґрунту. Показник азоту лужногідролізованого та мінерального зменшуються за профілем 0 – 40 см і становить 56,78 та 16,60 мг/кг ґрунту відповідно в орному шарі ґрунту.

Рухомі сполуки фосфору та калію в межах дослідної ділянки рівні 64,00 та 41,10 мг/кг ґрунту на глибині 0 – 20 см відповідно, та 56,00 та 29,00 мг/кг ґрунту відповідно на глибині 20 – 40 см.

Дослідження також вказує на важливість врахування місцевих умов та кліматичних особливостей при виборі методів збереження родючості ґрунту. Оптимальні підходи можуть відрізнятися і залежать від конкретного регіону та типу ґрунту. Ґрунт дослідної ділянки на території Гвіздецького родовища (табл. 2.4) володів такими показниками.

Таблиця 2.4

Фізико-хімічні та агрохімічні показники ґрунту на території Гвіздецького родовища

Показник, одиниці вимірювань	Глибина відбору зразків, см	
	амбар 1	амбар 2
	0 – 20	0 – 20
Ємність поглинання катіонів, ммоль/100 г ґрунту	13,24	15,11
Сума увібраних основ, ммоль/100 г ґрунту	6,14	5,49
Ступінь насичення основами, %	79,34	72,19
pH _{сольове}	6,5	6,1
Вміст гумусу, %	2,3	2,4
Концентрація азоту (N), мг/кг ґрунту	25,00	27,00
Концентрація фосфору (P), мг/кг ґрунту	15,00	16,00
Концентрація калію (K), мг/ ґрунту	120,00	120,00
Концентрація кальцію (Ca), мг/кг ґрунту	800,00	804,00
Концентрація магнію (Mg), мг/кг ґрунту	150,00	146,00
Концентрація заліза (Fe), мг/кг ґрунту	10,00	12,00
Концентрація мікроелементів (Cu, Zn, Mn), мг/кг ґрунту	0.5, 2.0, 3.0	0.8, 2.7, 3.9

Ґрунт дослідної ділянки на території Гвіздецького родовища відзначався такими показниками: 6,14 та 5,49 ммоль/100 г ґрунту – сума увібраних основ, ммоль, концентрація азоту, фосфору та калію в орному шарі ґрунту рівна 25,00 мг/кг ґрунту, 15 мг/кг ґрунту та 120,00 мг/кг ґрунту відповідно. Концентрація магнію та заліза в орному шарі ґрунту рівна 150,00 та 10,00 мг/кг ґрунту відповідно, проте в підорному шарі ґрунту концентрація магнію зменшується на 4,00 мг/кг ґрунту, а концентрація заліза підвищується на 2,00 і становить 12,00 мг/кг ґрунту.

Концентрація кальцію в шарі 0 – 20 см становить 800,00 мг/кг ґрунту, а в шарі 20 – 40 см – 804,00 мг/кг ґрунту.

Концентрація мікроелементів (Cu, Zn, Mn) в орному шарі ґрунту становить 0,5; 2,0 та 3,0 мг/кг ґрунту відповідно, проте в підорному шарі ґрунту концентрація підвищилась на 0,3; 0,7 та 0,9 мг/кг ґрунту відповідно.

Одним з основних висновків дослідження є те, що збереження родючості ґрунту вимагає комплексного підходу, що полягає у застосуванні відновлювальних методів та практик. Вона може включати в себе обробку ґрунту з урахуванням збереження його структури, використання органічних добрив, введення ротації культур, застосування мульчування та інших прийомів для запобігання ерозії та втраті поживних речовин.

Враховуючи отриману інформацію, можна зробити висновок, що ґрунти дослідних ділянок за агрохімічними та фізико-хімічними властивостями є придатними для вирощування фітоенергетичних культур за умови внесення органічних та мінеральних добрив.

Збереження та підвищення родючості ґрунту є важливим завданням для сталого розвитку і забезпечення енергетичної безпеки України. Впровадження рекомендацій і засобів збереження родючості ґрунту допоможе забезпечити ефективне та стаłe виробництво енергетичних культур, зменшити вплив на довкілля та забезпечити майбутні покоління доступом до плідючих ґрунтів.

2.5 Технологічні аспекти вирощування фітоенергетичних культур в умовах польових досліджень

Масштабне поширення енергетичних рослин з метою отримання біомаси целюлозної сировини вважається одним із найперспективніших шляхів забезпечення відновлюваними джерелами енергії. Однак, розвиток конкурентної целюлозної біоенергетики супроводжується вирішенням питань стосовно забезпечення не тільки надійного джерела дешевої біомаси, але й екосистемних переваг, включаючи ефективне використання води, азоту, калію та фосфору; відновлення здоров'я ґрунту [275].

Науковці [277, 287, 334] відзначають позитивний ефект від вирощування енергетичних культур на ґрунтові характеристики, оскільки у разі тривалого проростання на одному місці вони щорічно формують велику кількість біомаси, яка серед іншого, збагачує ґрунт органічною речовиною [232].

Велика кількість видів культур досліджена для умов використання як енергетичних культур, але тільки деякі види досягли комерційного рівня та вирощуються на великих площах.

Одним із найбільш швидкоростучих видів деревних культур за приростом пагонів (за один день може досягати 3 – 5 см), і вегетативною масою є верба енергетична (*Salix winimalis L.*). Виведена селекційно для енергетичних цілей верба розсаджується саджанцями довжиною від 20 – 25 см і здатна до легкого відновлення надземної частини після її зрізання. Верба енергетична невибаглива до аерації ґрунту, пристосована до надмірного застійного зволоження. Ці верби швидко ростуть і їх можна збирати за коротких циклів ротації, що робить їх стійким джерелом відновлюваної енергії. Вони, в основному, використовуються для біоенергетики у формі деревної тріски або пелет, які можна спалити для отримання тепла або електроенергії. Енергетичні верби відомі своєю ефективністю в перетворенні сонячного світла в біомасу, а також своєю здатністю рости на маргінальних землях, які можуть бути непридатними для

продовольчих культур. В наших дослідженнях трирічну вербу зрізували восени на висоті 8 – 10 см.

На наступний рік після зрізання вегетативної маси ранньою весною відразу після припинення стійких заморозків до проростання живців верби, ґрунт у міжряддях розпушували удосконаленим фрезерним культиватором. ОСВ і компости були повторно внесені відповідно до схеми експериментальних досліджень. Обробку проводили таким чином, щоб розпушений шар був неглибоким, але при цьому, щоб добрива були покриті шаром ґрунту товщиною 5 – 8 см. У перший рік вегетації після повторного застосування ОСВ ретельний догляд і захист від бур'янів було забезпечено до висоти пагонів верби енергетичної більше 1,0 м у перші 1,5 – 2 міс. Бур'яни періодично знищувалися вручну. Пізніше, коли верба переросла бур'ян, процес знищення небажаної рослинності більше не був вирішальним у догляді, а в посушливі періоди площу не прополювали, чим запобігали надмірному пересиханню ґрунту.

Роботи, проведені в перший рік вирощування, забезпечили інтенсивний приріст рослин енергетичної верби та визначили рівень накопичення вегетативної маси в наступні роки. У перший рік після вирубування з одного стовбура проростає 5 – 8 гілок довжиною близько 3 – 4 м. Довжина гілок залежить від водного режиму та рівня мінерального живлення. Після чотирьох років вегетації вербу зрізали вручну, вибірково зважували для визначення рівня продуктивності і можливості аналізу маси сировини. Після висушування до сталої маси визначали біомасу сухої речовини та відбирали проби для лабораторних аналізів.

Міскантус – багаторічна трав'яниста рослина з родини злакових, найкраще росте на сонячних ділянках з глибоким, добре дренованим ґрунтом. Його можна вирощувати на одному місці протягом 20 – 25 років. Попередня підготовка ґрунту та посадка кореневищ міскантуса є одними з найважливіших елементів у технології його вирощування [108, 311 – 314, 402].

На території дослідного поля ранньою весною проведено культивування

дисковою бороною на глибину близько 30 см та внесено добрива відповідно до схеми дослідження.

Міскантус висаджували вручну за схемою 50 x 70 см, використовуючи ризоми з 5 – 6 ростовими бруньками для кращого вкорінення. Глибина заробки ризом становила від 12 см.

Зазвичай в перші роки рослина формує потужну кореневу систему, однак не відбувається змикання рядків. В перші роки вегетації на початку відростання наземної частини рослини висотою 15 – 20 см проводили розпушування міжрядь. Міскантус стійкий до морозів, тому до наступного року завдяки значному збільшенню кореневища та кількості надземних пагонів утворюється суцільний травостій. У цей період міскантус є дуже конкурентним до бур'янів і не потребує оброблення міжрядь. Рослини стають стійкими до посухи після першого року вирощування [112, 314, 316].

Протягом трьох років спостерігали за розвитком рослин. Міскантус зазвичай збирають восени, коли рослини втрачають вологу і максимально нагромаджують суху речовину в біомасі. Найбажанішим періодом збирання міскантусу є грудень. В цей період вологість стебел знижується до 17%. Саме у грудні скошували рослини, зважували і відбирали зразки для лабораторних дослідів.

Вирощування світчграсу в Україні не набуло поширення через відсутність агротехнічного та економічного обґрунтування технологій вирощування. На сьогодні технології вирощування світчграсу в умовах ґрунтово-кліматичних зон держави мало вивчені.

Світчграс є теплолюбною багаторічною рослиною, що розмножується насінням. Має добре розвинену кореневу систему після 1 – 2 років вегетації [260].

Рано навесні після припинення пізніх заморозків у підготовлену ділянку висівали культуру. Світчграс сіяли вручну з відстанню 50 см в міжрядді на

глибину до 5 – 7 см. Сходи рослин з'явилися після 30 днів, за цей проміжок часу зійшло багато бур'янів, міжряддя довелося постійно прополювати.

На вказаних ділянках проведено три міжрядні обробки з інтервалом в 8 – 10 днів між ними. Після того, як рослини досягли висоти більше 30 см, подальших обробок не здійснювалося. Після укорінення рослини є стійкими до посухи. Протягом трьох років спостерігали за розвитком рослин. Найбажанішим періодом збирання світчграсу, як і міскантуса, є грудень – лютий. Саме у грудні скошували рослини, зважували і відбирали проби для лабораторних дослідів.

Сильфія пронизанолиста належить до родини айстрових. Висота стебла цієї рослини сягає 3 метрів. Листя крупне, велике (до 35 см), розсічене. За достатнього зволоження формує 70 – 100 т/га зеленої маси за 2 – 3 укуси впродовж вегетаційного періоду. Тривалість використання плантації – 20 – 25 років [208, 302].

Після весняного обробітку ґрунту ОСВ вносили відповідно до методики та схеми дослідження. Крім підготовки ґрунту, всі роботи, пов'язані зі сівбою та доглядом за посівами впродовж трьох місяців після появи сходів, проводили вручну.

Під час висівання в лунку кидали 4 – 5 насінин і загортали на глибину 2 – 3 см. Сходи рослин з'явилися на 18 – 19 день. За цей час зійшло багато видів бур'янів, тому здійснювали кількаразове прополювання міжрядь. На дослідній ділянці було проведено три міжрядні обробки з періодичністю 8 – 10 днів.

Протягом першого року забезпечували ретельний догляд і захист від бур'янів, доки рослини переросли бур'яни. Після досягнення рослинами висоти понад 30 – 40 см обробітки не проводили, оскільки рослини успішно конкурували з бур'янами та пригнічували у подальшому їхній розвиток [114, 301, 312].

У посушливі періоди прополювання не проводили, запобігаючи тим самим надмірному висиханню ґрунту. Восени зрізали рослину і визначали продуктивність біомаси. Протягом трьох років досліджень проводили

вегетативні спостереження, відбирали проби рослин як кореневої системи, так і надземної частини для лабораторних досліджень.

Топінамбура – цінна культура різнобічного використання. Вирощують його як енергетичну, кормову, технічну, продовольчу та лікарську культуру, як невибагливу до родючості ґрунту. В наших дослідженнях висаджували сорт топінамбура Львівський, що відзначається інтенсивним ростом вегетативної маси та високим ступенем засвоєння поживних речовин із ґрунту [260, 276, 209].

Рано навесні на території дослідного поля після культивування дисковою бороною вносили ОСВ відповідно до схеми досліджень. Висаджували бульби топінамбура на початку третьої декади квітня на глибину 6 – 8 см, спосіб обробітку ґрунту такий самий, як і під картоплю. Ямки під топінамбура робили вручну за схемою 70 x 50 см. В кожен ямку клали по одній бульбі топінамбура середнього розміру і пригортали ґрунтом. Через 2-х тижнів проведено посадки робили міжрядкове рихлення. Коли висота рослин досягла 15 см, їх підгортали. Протягом літа брали проби наземної частини рослини для лабораторних аналізів та спостерігали за вегетативним розвитком рослин. Збирали врожай проводили на початку жовтня до заморозків. Проте з кожного варіанту по одному повторенню ми залишали у ґрунті для порівняння продуктивності бульб топінамбура через рік та через два роки вирощування. Протягом трьох років висаджували бульби топінамбура та проводили обліки врожаю, вели вегетативні спостереження та лабораторні аналізи.

При вирощуванні топінамбура однією з ключових труднощів є ефективна технологія зберігання бульб протягом зимового періоду. За висновками багатьох дослідників, одним з простих та бюджетних методів є зберігання бульб у ґрунті з можливістю викопування за необхідності. На жаль, виявлено, що під час зберігання зібрані бульби топінамбура швидко втрачають вологу і стають вразливими до шкідливих грибків і бактерій [112, 207].

Зразки ґрунту було зібрано відповідно до загальноприйнятих методик [118, 302] пошарово на глибину 0 – 80 см (в окремих випадках до 1 м) і упаковані в

паперові мішки. У лабораторії ґрунт очищали від нехарактерних домішок і рослинних залишків, висушували до сталої ваги.

З висушених зразків формували середні зразки методом конверта, просівали крізь сито з розміром отворів 2 мм і відбирали наважки для проведення лабораторних аналізів.

Висновки до розділу 2

1. Програма досліджень та методологія виконання польових і лабораторних дослідів повністю відповідала темі дисертаційної роботи та виконувалась відповідно до загальноприйнятої тематики досліджень, вимог діючих стандартів та методик вимірювання, прийнятих в екології та агрономії.

2. Забезпечено достовірність отриманих результатів досліджень, що, в свою чергу, уможлиблює коректність сформульованих висновків та пропозицій виробництву.

3. Технологічні аспекти садіння і догляду за енергетичними культурами (світчґрас, сильфія пронизанолиста, міскантус, топінамбур, верба енергетична) в умовах дослідів відповідають агротехнології їхнього вирощування у виробничих умовах.

4. За результатами досліджень встановлено, що ґрунт на дослідних ділянках відзначається низькими показниками вмісту основних поживних речовин; рН ґрунту відповідає кислому середовищу, що може бути обмежувальним чинником росту і розвитку рослин.

5. Кліматичні умови та характеристики ґрунтового покриву дослідних ділянок повністю відповідають потребам для вирощування енергетичних культур.

Основні наукові результати розділу відображені авторкою у публікаціях експериментального характеру [261, 277, 282] тощо.

РОЗДІЛ 3

ОЦІНКА ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА

Проблема відкладів, які нагромаджуються після очищення стічних вод, стає все більш актуальною для України [158]. ОСВ є окремим видом відходів, утворення яких становить 30 – 45% від загальної кількості відходів виробництва і споживання. Так, внаслідок урбанізації, на території України щороку утворюється понад 50 млн м³ осаду з вологістю 96% і приблизно 40 млн м³ з вологістю 61%, які містять: азоту – 40 тис. т, фосфору – 35 тис. т, калію – 3 тис. т [233, 567]. Органічна складова надлишкового мулу містить до 50% білків, 30% жирів та до 10% вуглеводів [202, 311].

До класу ОСВ відносять важко зневоднювані полідисперсні суспензії. У цих відкладах містяться сполуки кремнію, алюмінію, заліза, оксид кальцію, магнію, калію, натрію, цинку, хрому, нікелю тощо, розчинені механічно з твердими частинками, а також у вільному стані [200, 333]. В ОСВ активна реакція середовища рН коливається в межах 6 – 8 [5, 36].

3.1 Порівняльний аналіз осаду стічних вод та інших органічних матеріалів

ОСВ є і може бути сировиною для виготовлення добрив, біогазу та інших вторинних продуктів, які для потреб сільського господарства, енергетики та інших промислових галузей.

Під час зберігання ОСВ втрачають воду до 30 – 55%, заростають бур'янами, коренева система яких переплітає весь пласт ОСВ. Під час зберігання на мулових майданчиках ОСВ набувають вигляду землистої сипкої маси з дрібно грудкуватою структурою, злегка світлішають, набуваючи від темно-сірого до сірого кольору.

Для проведення порівняльних досліджень хімічного складу ОСВ та інших органічних добрив були відібрані проби з місця захоронення ОСВ КП Івано-Франківської станції аерації ДК «Екотехпром» [112].

На території КП Івано-Франківська станція аерації ДК «Екотехпром» ОСВ зберігається в мулових картах, що розділені бетонними перегородками. ОСВ відокремлений за терміном зберігання: свіжий до 5 років, 6 – 10 років і понад 10 років (рис. 3.1).



Рис. 3.1 Мулові карти КП Івано-Франківська станція аерації ДК «Екотехпром»

Для проведення порівняльних досліджень хімічного складу ОСВ з іншими добривами органічного походження обрали курячий послід, гній ВРХ, торф та гній свиней.

Проби пташиного посліду та свинячого гною відбирали на території ПАФ «АСТРА» (Івано-Франківська обл., Снятинський р-н, село Русів); проби гною ВРХ на території СГ ТЗОВ «УЇЗД» (Івано-Франківська обл., Рогатинський р-н, село Уїзд); проби торфу були надані для досліджень компанією ПРАТ «Івано-Франківськторф» (м.Івано-Франківськ). Для всіх видів проб обчислено середній показник. В результаті проведених досліджень в усіх зразках проаналізованої сировини (ОСВ, курячий послід, ВРХ, торф, гній свиней) встановлено вміст

основних живильних елементів для рослин (азоту, фосфору, калію) (табл. 3.1) [114, 312].

Таблиця 3.1

Порівняльна агрохімічна характеристика органічних добрив [113, 311].

Склад	Сировина					
	Осад стічних вод	Курячий послід	ВРХ	Торф	Гній свиней	Нормований показник згідно ГДК
	2	3	4	5	6	7
Вологість, %	76,00	66,40	71,00	44,80	89,00	-
Зольність, % на суху речовину	25,00	17,00	40,80	20,10	16,40	40,0
Азот, % на суху речовину	0,66	2,91	2,15	2,47	0,50	1,50
P ₂ O ₅ , % на суху речовину	2,51	1,13	1,04	0,21	2,10	0,70
K ₂ O, % на суху речовину	2,16	1,15	2,46	0,10	2,50	-
pH	8,10	7,50	7,90	5,10	8,00	6,50 – 7,50

За результатами досліджень ОСВ є ефективнішим порівняно зі свинячим чи коров'ячим гноєм.

Зразки гною свиней відзначалися дещо підвищеним вмістом води 89,0%, що на 44,2% більше, порівняно з іншими добривами, а саме торфом. У зразках ОСВ та гною ВРХ вміст води рівний 76,0% та 71,0% що відповідно на 31,2% і 27,2% вище за вміст води у торфі.

Найменша зольність за результатами дослідження виявлена у зразках гною свиней та курячого посліду – 16,4% та 17,0% на суху речовину відповідно.

Показник кислотності найбільшим є у ОСВ і рівний 8,1, а найменший – у торфі рівні 5,1 що на 2,4 менше, ніж у курячому посліді. Зразки гною ВРХ відзначалися показником кислотності рівним 7,9 що на 0,2 менший ніж у зразках ОСВ.

Порівнюючи зразки ОСВ з традиційним органічним добривом (гноєм), встановлено, що вміст фосфору в зразках ОСВ перевищує вміст фосфору в зразках гною ВРХ на 1,47% на суху речовину, вміст калію в зразках гною ВРХ перевищує відповідний показник в зразках ОСВ на 0,3% на суху речовину, в зразках курячого посліду на 1,30% на суху речовину, в зразках торфу на 2,30% на суху речовину і становить 0,10% на суху речовину. Вміст калію в зразках торфу рівний 2,50% на суху речовину і згідно проведених досліджень залишається максимальним порівняно, з іншими досліджуваними зразками.

Вміст азоту в зразках гною свиней рівний 0,50% і є найменшим з показників серед всіх досліджуваних зразків, проте вміст азоту в зразках ОСВ є вищим на 0,16%. Найбільший вміст азоту в зразках курячого посліду та торфу і сягає відповідно 2,91% та 2,47% на суху речовину відповідно.

Саме вміст азоту і фосфору визначають особливу цінність органічного добрива для дерново-підзолистих ґрунтів, оскільки позитивно впливає на рН реакцію ґрунтового середовища, його структуру і живильний режим.

Високоякісні компости, які готували із ОСВ, це - гомогенні темні сипкі суміші з вологістю не більше 75 % і майже нейтральною (рН = 7) реакцією середовища. В анаеробних умовах сировина зазнала перетворень, внаслідок чого змінювався хімічний склад добрив [101, 205].

Компост, який містить цементний пил, готували аналогічно, тільки кожний шар пересипали шаром цементного пилу завтовшки 1,0– 2,0 см. Формування буртів у всіх компостах завершували з досягненням висоти 1,5 – 2,0 м, після чого зовнішню поверхню бурта вкривали шаром ґрунту товщиною близько 30 см.

Компостування відбувалося впродовж тривалого періоду – до 6 місяців, з яких близько 3-х місяців припадали на теплу пору року. Внаслідок цього

отримали компост високої якості з низьким рівнем хімічного та біологічного забруднення.

У процесі біодеградації відходів органічні субстрати піддаються фізико-хімічним перетворенням з утворенням компосту – стабільно зволоженого кінцевого продукту. Гуміфіковані продукти швидко приходять в рівновагу з екосистемою, в яку їх внесли, і не викликають серйозних порушень в ній, як це буває під час унесення неперероблених відходів. Компост є цінним як органічне добриво і як поліпшувач структури ґрунту [6].

Компост містить необхідні для росту і розвитку рослин елементи, речовини, що підвищують родючість ґрунту, сприяють розвитку корисної мікрофлори. В результаті біотермічної обробки отримують органічні добрива у вигляді сипучих матеріалів з вологістю 40 – 50%, що не мають запаху і не гниють [56, 311].

Перед закладанням компост змішували з різними органічними матеріалами, наповнювачами (соломою, тирсою та цементним пилом). Компости готували у безпосередній близькості до дослідних ділянок на полі. Компостний бурт формували завширшки 4 м і довжиною 5 – 6 м кожний, стабілізована висота бурта становила 1,5 – 2,0 м.

Спочатку на дно бурту розсипали органічний матеріал (солома, тирса) завтовшки 50 см, потім шаром вкладали ОСВ і органічний матеріал завтовшки 30 – 40 см.

У виготовлених компостах вміст органічної речовини коливався в межах 75 – 78%. Показник кислотності рН сягав 7,1 – 7,5. Вміст лужногідролізованих форм азоту становив 708,59 мг/кг у компості 1, та зменшувався у компостах 2 – 3 відповідно до 223,19 та 637,29 мг/кг (табл. 3.2).

Меншою мірою коливається вміст рухомих сполук фосфору (від 392,2 до 432,5 мг/кг) і обмінних форм калію (від 199,1 до 401,7 мг/кг). Добриво ОСВ з соломою має найнижчий вміст основних поживних речовин (3 : 1) під номером 2 (табл. 3.1). Відповідно до отриманих результатів вміст мікроелементів, таких як

мідь, залізо, магній, марганець, а також нітратних форм азоту був практично однаковим у всіх компостах з невеликою тенденцією до збільшення у компості ОСВ з тирсою.

Таблиця 3.2

Хімічний склад компостів, виготовлених на основі ОСВ [114].

у % на суху речовину

Агрохімічні показники	компости			НІР _{0,05}
	1	2	3	
Органічна речовина, %	77,00	79,00	75,00	1,92
pH _{сольове}	7,50	7,10	7,30	0,27
Азот лужногідролізований, мг/кг	708,59	223,19	637,29	21,94
N-NO ₃ , мг/кг	787,91	745,71	734,10	11,60
Рухомий фосфор, мг/кг	432,50	392,20	412,60	9,10
Обмінний калій, мг/кг	401,70	199,10	305,60	25,20
Mn, мг/кг	0,095	0,091	0,093	0,001
Zn, мг/кг	0,156	0,152	0,154	0,001
Fe, мг/кг	0,029	0,025	0,027	0,002
Cu, мг/кг	0,109	0,105	0,108	0,01
Ca ²⁺ , мг/кг	1596,7	1478,3	1501,5	10,1
Mg ²⁺ , мг/кг	0,129	0,124	0,127	0,01

Використання ОСВ як добрива має важливе значення з кількох причин. Осад стічних вод може містити поживні речовини, які є корисними для рослин, такі як азот, фосфор, та калій. Використання осаду як добрива сприяє відновленню родючості ґрунту. Використання осаду дозволяє зменшити обсяг відходів, що потрапляють на сміттєзвалища або у водойми. Це сприяє зниженню впливу на навколишнє середовище. Використання осаду стічних вод може

зменшити потребу в хімічних добривах, оскільки він містить природні компоненти, необхідні для рослин.

3.2 Вміст важких металів і елементний склад осаду стічних вод, підготовленого до внесення у ґрунт

ОСВ містять не тільки органічну речовину і цінні поживні компоненти для рослин, але й шкідливі сполуки, насамперед важкі метали. Джерелом надходження важких металів в ОСВ є промислові стічні води. Близько 80 – 90% важких металів стічних вод потрапляє в осад. Крім загального вмісту у важких металів ОСВ відзначається і їхня біодоступність.

Все залежить від складу осаду, тривалості та умов компостування. Кількість органічних речовин в ОСВ, які скорочується на 25 – 40%, відповідно змінюється і показник вмісту металів.

Біодоступними формами важких металів є взаємозамінні метали, які перебувають у водному розчині і можуть зв'язуватися з карбонатами, сульфатами і фосфатами [267].

В осаді побутових стічних вод міститься велика кількість речовини, а також шкідливих для людини і навколишнього природного середовища, також хвороботворних мікроорганізмів, вірусів і грибів. Проведені результати досліджень ОСВ, який застосовували для досліджень і в компостах у ДУ «Івано-Франківський ОЛЦДСЕСУ» Паразитологічна лабораторія (Додаток Г.1) [181, 196].

Крім основних елементів живлення і мікроелементів ОСВ визначали вміст важких металів, який порівнювали з нормованими показниками (табл. 3.3) [34, 401]. Для кожного металу вказано вміст у міцнозв'язаній та рухомій формі. Згідно з таблицею, нікель має найвищий рівень міцнозв'язаної форми, складаючи 44,2 мг/кг, тоді як кадмій має найнижчий, всього 2,7 мг/кг. Мідь і кобальт мають порівняно високі рівні, 26,0 мг/кг та 25,0 мг/кг відповідно, а

свинець та цинк мають середні значення, 19,5 мг/кг та 14,7 мг/кг відповідно. Найвищий рівень для міді рухомої форми має значення – 14,9 мг/кг, найменший рівень у кадмію за значенням дорівнює 0,8 мг/кг.

Таблиця 3.3

**Вміст важких металів в ОСВ Івано-Франківської станції аерації
державного концерну «Екотехпром» [114].**

Важкі метали	Осад комунально - побутових стічних вод		ГДК важких металів в ОСВ згідно з ГОСТ 17.4.3.07	
	Міцнозв'язана форма ВМ	Рухома форма ВМ	Міцнозв'язана форма ВМ	Рухома форма ВМ
	мг/кг			
Кадмій	2,7	0,8	3,0	0,7
Мідь	26,0	14,9	25,0	10,0
Цинк	14,7	7,2	15,0	5,0
Нікель	44,2	4,6	85,0	4,0
Свинець	19,5	5,8	30,0	6,0
Кобальт	25,0	3,9	50,0	5,0

Особливої уваги заслуговують сполуки кадмію, оскільки даний елемент належить до першого класу екологічної небезпеки [12].

З біогеохімічної точки зору ВМ чинять токсичну дію на живі організми, навіть у відносно низьких абсолютних концентраціях (рис. 3.2).

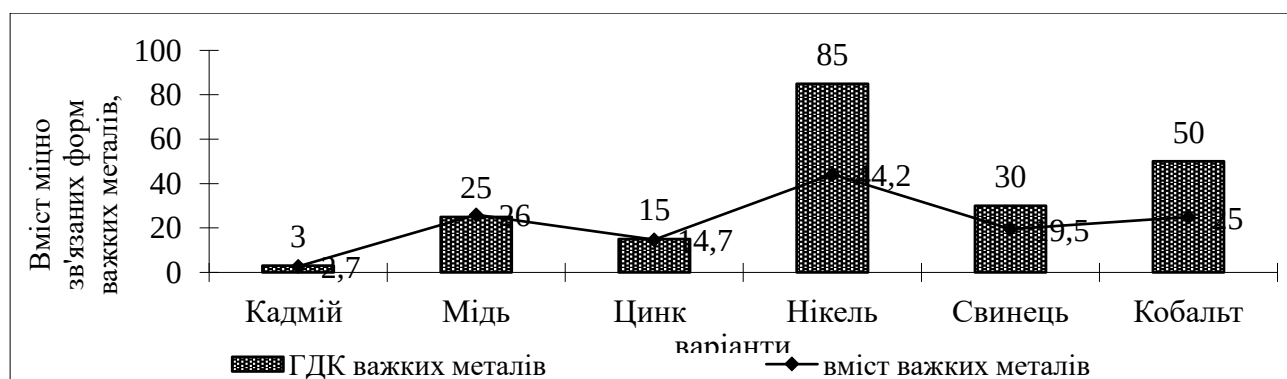


Рис. 3.2 Вміст міцнозв'язаних форм важких металів в ОСВ

Людина забруднює ґрунт різними речовинами. Як показали дослідження, вміст кадмію в ОСВ становив 2,7 і 0,8 мг/кг у міцнозв'язаній і рухомій формах відповідно, міді – 26,0 і 14,9 мг/кг, цинку – 14,7 і 7,2 мг/кг, нікелю – 44,2 і 4,61 мг/кг.

Концентрації рухомих форм важких металів в ОСВ не перевищували ГДК. Проте згідно з нашими дослідженнями рухомі форми таких металів, як кадмій, мідь, цинк і нікель незначно перевищують ГДК важких металів в ОСВ (рис. 3.3).

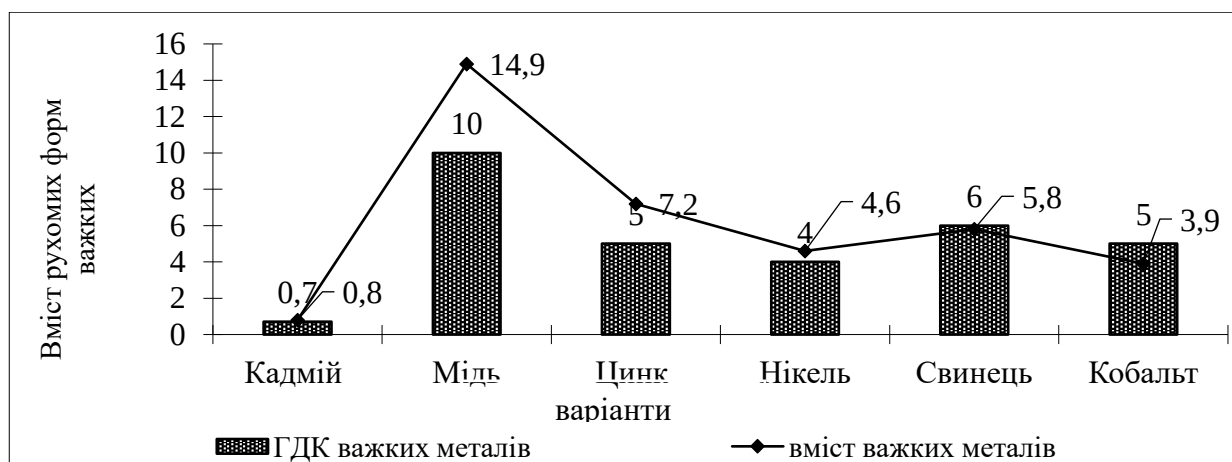


Рис. 3.3 Вміст рухомих форм важких металів у осаді стічних вод

Дослідження вмісту рухомих форм важких металів у осаді стічних вод є надзвичайно важливим аспектом для оцінки впливу стічних вод на довкілля та забезпечення якості водних ресурсів. Виявлення випадків перевищення та аналіз концентрацій важких металів у осаді є необхідним для розуміння ступеня забруднення водних систем і впливу на біоту та екосистеми загалом.

Отримані результати дослідження свідчать про наявність важких металів у ОСВ на вивчених ділянках. Це може бути спричинене як природними процесами, так і антропогенним впливом, таким як викиди з промислових підприємств, сільськогосподарська діяльність, а також іншими джерелами забруднення.

Підвищена концентрація важких металів у осаді може мати негативний вплив на водні екосистеми та бути потенційно шкідливою для здоров'я людей у разі використанні води з таких джерел.

З урахуванням отриманих результатів важливо розробити та впровадити ефективні методи очищення та обробки стічних вод перед їх випусканням у водні джерела, щоб зменшити вміст важких металів та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Також важливо проводити моніторинг і регулярні дослідження для визначення динаміки забруднення та ефективності заходів з редукції важких металів у стічних водах.

Збереження якості водних ресурсів та захист від забруднення важкими металами є важливим завданням для забезпечення сталого розвитку та здоров'я екосистем і людей.

Для зменшення вмісту важких металів у органічному добриві здійснювали компостування ОСВ, проте і в отриманому компості залишався найвищий вміст важких металів, включаючи кобальт, нікель, кадмій і свинець (рис. 3.4).

Результати аналізу компостів на основі ОСВ вказують, що компост 1 містить найбільшу кількість поживних речовин для ґрунту, проте відрізняється найвищим вмістом важких металів.

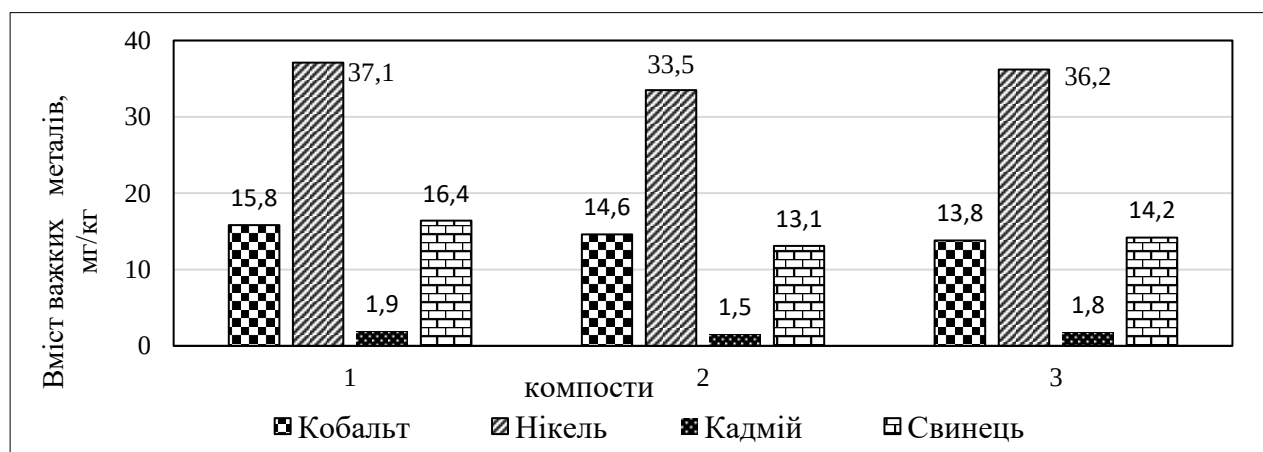


Рис. 3.4 Вміст деяких важких металів у компостах на основі ОСВ:

1. Компост (ОСВ + тирса (3:1));
2. Компост (ОСВ + солома (3:1));
3. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %).

Тенденцію до збільшення вмісту цинку та магнію в компостах, враховуючи

дози внесення ОСВ і наповнювачів, можна описати відповідно такими рівняннями регресії:

$$y = 0,185 \ln(x) + 0,4729, \quad (3.1)$$

де y – вміст магнію, мг/кг;

x – компост на основі наповнювачів, номер компосту;

$$y = 0,9894x - 0,0015, \quad (3.2)$$

де y – вміст цинку, мг/кг;

x – компост на основі наповнювачів, номер компосту.

Множинні коефіцієнти детермінації, відповідно $R^2 = 0,83$ та $R^2 = 0,87$, вказують на високу тісноту зв'язку між вмістом магнію й цинку в компостах та складом наповнювачів.

За отриманими даними γ – коефіцієнт варіації у цинку – 1,04 %, у магнію дещо більший показник – 1,6 %.

Розрахункове значення показника ($N\omega^2$) становить лише 0,15 мг/кг різниці між цинком і магнієм. Показник S^2 для (Zn) становить 0,0000028, для (Mg) становить 0,0000046 (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

**Порівняльний математичний аналіз вмісту Zn та Mg
в компостах на основі осаду стічних вод**

У міліграмах на кілограм

Функція	Zn	Mg	Функція	Zn	Mg
1	2	3	4	5	6
N	4	4	m_2	-0,0006	0,048
$\bar{x}$	0,1537	0,127	m_3	0,15	-0,0124
S^2	0,0000028	0,0000046	m_4	0,0029	0,0054
S	0,0016	0,0021	as	4,01	12,4
$\gamma, \%$	1,04	1,6	Sas	0,51	0,51
E	0,000018	0,000036	$3Sas$	1,53	1,53

1	2	3	4	5	6
h_1	0,1537	0,127	ex	8,27	2,356
h_2	0,023	0,06427	Sex	2,03	2,03
h_3	0,003635	0,008	$5Sex$	10,158	10,158
h_4	0,000558	0,00103	$(N\omega^2)_p$	2,04	1,89
m_1	0	0	Коефіцієнт кореляції	0,8	0,81

Таким чином, згідно з результатами порівняльного аналізу вмісту цинку та магнію в компості на муловій основі, вони взаємозалежні та мають нормальний розподіл (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

**Порівняльний математичний аналіз вмісту металів Mn та Fe
в компостах на основі осаду стічних вод**

Функція, мг/кг	Mn	Fe	Функція, мг/кг	Mn	Fe
N	4	4	m_2	0,000049	0,000022
$\bar{x}$	0,093	0,0265	m_3	-0,00001	0,0000012
S^2	0,00003	0,000004	m_4	-0,000073	0,0000003
S	0,0017	0,0018	As	-0,00001	0
$\gamma, \%$	1,87	0,005	Sas	0,51	0,51
E	0,00003	0,00014	$3Sas$	1,53	1,53
h_1	0,093	0,0265	Ex	-0,000073	0
h_2	0,0086	0,00068	Sex	2,03	2,03
h_3	0,00079	0,000018	$5Sex$	10,158	10,158
h_4	0,00007	0,0000004	$(N\omega^2)_p$	0,82	0,80
m_1	0	0	Коефіцієнт кореляції	0,9287	0,8046

Відслідковано тенденцію вмісту марганцю і феруму в компостах на основі ОСВ, залежно від складу компосту, за допомогою методів математичної статистики [23] описано динаміку цієї залежності рівнянням регресії та коефіцієнтом кореляції.

Множинні коефіцієнти детермінації, відповідно $R^2 = 0,80$ та $R^2 = 0,96$, вказують на високий коефіцієнт тісноти зв'язку між вмістом кобальту й свинцю в ОСВ та терміном його зберігання. Ця залежність також підпорядковуються нормальному розподілу, оскільки $r = 0,67 > r_{cr} = 0,632$, для помилки 0,05 або 0,770 для помилки 0,01. У сучасних умовах ефективним і екологічно безпечним способом підготовки ОСВ до використання як добрива в сільському господарстві можна розглядати, як зневоднення на карті гряді з подальшим компостуванням у суміші з різними органічними наповнювачами [34, 48]. Цей метод може бути широко застосовний завдяки простоті технології і відносно низьким інвестиційним витратам. Якісний компост вносить спори корисних бактерій та грибків, які оновлюють здорову ґрунтову мікрофлору і витісняють патогенну.

Компостування осаду стічних вод є одним із методів обробки осадів, який дозволяв перетворити органічний матеріал з осадів у стабільний і корисний продукт – компост. Цей метод є екологічно стійким і ми використовували для вирішення проблем управління відходами, включаючи осади стічних вод.

Підготовлений осад розміщувався на спеціальних майданчиках поряд з полем. Відтак ОСВ змішувався з іншими органічними матеріалами, такими як солома, тирса, цементний пил, що сприяло процесу розкладання і покращувало якість самого добрива.

Після завершення активного розкладання компост залишали на дозрівання, під час якого він став більш стабільним і готовим до використання.

Важливо зазначити, що компостування ОСВ вимагає контролю за процесом, включаючи відповідну технологію аерації, регулярні аналізи якості компосту та врахування вимог щодо екологічної безпеки.

В процесі компостування в органічних рештках підвищується вміст доступних рослинам елементів живлення, а також знешкоджується патогенна мікрофлора.

Органічні добрива покращують структуру ґрунту, створюють умови для розмноження дощових черв'яків, які розпушують ґрунт, дозволяють повітрю та воді проникати до коренів рослин і збагачують ґрунт корисними мікроорганізмами. На супіщаних і супіщаних ґрунтах компост підвищує вологість, а на глинистих — покращує аерацію.

Вони допомагають ґрунту утримувати вологу та забезпечують поступове вивільнення поживних речовин, що потрібні рослинам, є більш екологічно безпечними у порівнянні з хімічними добривами, оскільки мінімізують ризик забруднення ґрунту та водних ресурсів хімічними елементами.

Органічні добрива важливі для відновлення виснажених або деградованих ґрунтів. Їх використання є ключовим елементом в стійкому сільському господарстві, оскільки вони допомагають зберегти ґрунт та екосистеми у здоровому стані на довготривалу перспективу [48, 312].

Компостування відбувається завдяки активності співтовариства організмів різних груп. Перелік основних груп організмів, що беруть участь в процесі компостування: мікрофлора (бактерії – коки, палички, нитчасті), актиноміцети, які створюють тонкий розгалужений міцелій, що найкраще розвивається в умовах температури та помірної вологості, гриби, дріжджі (безліч видів, серед яких найбільше значення мають теплолюбні організми), водорості, віруси (живуть на тілі господаря: бактерії або актиноміцети), найпростіші (рухливі одноклітинні), вищі гриби, представники макрофауни (багатоніжки, кліщі, хробаки, терміти, жуки, павуки) тощо.

У процесі компостування бере участь більше 2000 видів бактерій і не менше 50 видів грибів [45, 312].

Санітарно-бактеріологічне нормування ОСВ проводиться у випадку виявлення чи підозри на присутність бактерій, що відносяться до групи кишкової

палички, і представників патогенної мікрофлори [69]. Основними патогенами, які можуть перебувати в ОСВ, є *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* *Mykobacterium tuberculosis*, *Protozoa*, ентеровіруси (полівірус), яйця нематод, стьожкових і плоских червів тощо [88, 114].

У світі використовують різні технології знезаражування ОСВ: термічні (пастеризація, аеробна термофільна стабілізація, термоосушення тощо), хімічні (обробка вапняним молоком, негашеним вапном тощо) та біологічні (компостування у валках, в тунелях тощо) [56].

Існують рекомендації щодо внесення ОСВ та компостів на його основі нижче рівня родючого шару ґрунту з метою ізолювання контакту патогенної мікрофлори від сільськогосподарських культур [112]. Розроблено технології, що дозволяють знезаражувати ОСВ висаджуванням на оброблювальній ним площі бобових культур [56]. Чимало дослідників наголошують, що найбільш серйозною проблемою, що пов'язана з використанням ОСВ у сільському господарстві, є потенційне накопичення важких металів у ґрунті та фітомасі. [67, 89]. Відомо, що склад солей важких металів в ОСВ дуже варіабельний та залежить від якості стічних вод та умов зберігання осаду.

Суттєвим чинником, який впливає на рівень забруднення ОСВ, є регіон (територія), в якому вони нагромаджуються. Так, стічні води промислових районів міститимуть набагато більше шкідливих речовин, ніж стоки туристичних та аграрних місцевостей, особливо це стосується забруднення важкими металами [78, 310].

Компости, які виготовляють на основі ОСВ, відзначаються значно меншим вмістом важких металів та вищим умістом основних елементів живлення, тому їх можна використовувати як добриво на рівні з непереробленим ОСВ, але з меншими екологічними ризиками.

Компост збільшує пористість ґрунту, що сприяє кращому зберігання води та повітря. Це дуже важливо для росту рослин.

Використання компосту допомагає зменшити потребу в штучних добривах і пестицидах, а також сприяє переробці органічних відходів, зменшуючи навантаження на звалища.

Компост може допомогти стабілізувати рН ґрунту, роблячи його більш придатним для більшості видів рослин.

Висновки до розділу 3

1. У розділі підтверджено технологію компостування ОСВ, яку використовували в польових дослідах, а також наведено утилізації ОСВ та підготовку його до використання як добрива, охарактеризовано хімічний склад та наведено порівняльний статистичний аналіз з іншими видами органічних добрив, що наочно демонструє перспективи його використання як добрива, в тому числі й під фітоенергетичні культури.

2. Проведені дослідження хімічного аналізу ОСВ підтверджують високий вміст поживних речовин у свіжому ОСВ та у виготовлених компостах на його основі. Проте свіжий ОСВ відзначається підвищеним вмістом ВМ, зокрема рухомих форм кадмію, міді та цинку, які перевищували ГДК до 1 – 4%. Завдяки компостуванню ОСВ вміст полютантів значно зменшувався; компости на основі ОСВ та соломи характеризувалися кращими агрохімічними властивостями як добрива. Варто зазначити, що практично всі компости відзначалися високим вмістом органічної речовини.

3. Таким чином, у третьому розділі розроблено нові способи утилізації ОСВ у певних дозах та з органічними наповнювачами у вигляді компосту, який має перспективи для внесення під енергетичні культури.

4. На розроблені та апробовані способи утилізації ОСВ, які розкриті в розділі, отримано охоронні документи на право інтелектуальної власності.

Результати досліджень, представлені у цьому розділі, висвітлено у публікаціях [42, 43, 304, 311].

РОЗДІЛ 4

ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД НА АГРОЕКОЛОГІЧНИЙ СТАН ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ

4.1 Фізико-хімічні властивості ґрунту та поживний режим

Додавання добрива суттєво впливає на стан ґрунту, збагачуючи його макро- і мікроелементами. Це впливає на синтез та деструкцію органічних сполук у ґрунті, окисно-відновний режим, підвищуючи чи знижуючи кислотність середовища. Запаси елементів живлення у ґрунті, доступні для рослин, змінюються залежно від умов. Таким чином, потрапляючи у ґрунт, добрива зазнають різноманітних перетворень під впливом хімічних, фізичних і біологічних чинників [23, 367].

Динамічні зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту під впливом добрив безпосередньо впливають на доступність поживних речовин рослинам, характер та інтенсивність їх поглинання.

Результати досліджень вказують на значний вплив системи внесення добрив на динаміку фізико-хімічних показників дерново-підзолистого ґрунту.

У наших дослідженнях показник рН у контрольному варіанті становив 4,8 в орному (0 – 20 см) і 4,5 в підорному (20 – 40 см) шарах дерново-підзолистого ґрунту. Внесення мінеральних добрив сприяло підвищенню показника рН на 0,3 в орному і 0,8 в підорному шарах ґрунту.

Застосування мінеральної системи добрива сприяло підкисленню ґрунтового розчину. Порівнюючи з контролем удобрення мінеральними добривами $N_{100}P_{100}K_{100}$ варіанта 2 забезпечило зміну показника pH_{KCl} на 0,6 в орному і 0,7 в підорному шарах ґрунту.

Під впливом повторного внесення ОСВ показник вмісту рН поступово зростав – від 6,4 до 6,8 у орному та від 6,1 до 6,2 у підорному шарі ґрунту залежно від норми внесення осаду стічних вод (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Зміна фізико-хімічних показників дерново-підзолистого ґрунту під впливом повторного внесення ОСВ за вирощування верби енергетичної, 2016 – 2022 період

Варіант досліджу	Шар ґрунту, см	рН _{KCl}	Н _г	Сума увібраних основ, (S)	Ємність поглинання, (Т)	Ступінь насичення основами (V, %)
1. Без внесення добрив (контроль)	0 – 20	4,8	3,27	8,49	11,70	72,6
	20 – 40	4,5	3,30	8,42	11,75	71,6
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0 – 20	5,4	3,24	8,67	11,76	73,7
	20 – 40	5,2	3,26	8,64	11,75	73,5
3. ОСВ – 40 т/га	0 – 20	6,4	2,96	8,92	11,78	75,7
	20 – 40	6,1	2,97	8,90	11,81	75,3
4. ОСВ – 60 т/га	0 – 20	6,6	2,95	8,94	11,82	75,6
	20 – 40	6,2	2,93	8,86	11,84	74,8
5. ОСВ – 80 т/га	0 – 20	6,8	2,90	9,10	11,87	76,7
	20 – 40	6,2	2,88	9,01	11,81	76,3
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	6,6	2,86	9,16	12,01	76,3
	20 – 40	6,3	2,88	9,11	11,96	76,2
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 – 20	6,4	2,80	9,06	11,98	75,6
	20 – 40	6,2	2,85	9,01	11,94	75,5
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 – 20	6,6	2,82	9,10	11,88	76,6
	20 – 40	6,3	2,89	9,06	11,86	76,4
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	6,7	2,86	9,13	11,99	76,1
	20 – 40	6,3	2,90	9,07	11,96	75,8
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10%) – 40 т/га	0 – 20	6,4	2,90	8,96	11,96	74,9
	20 – 40	6,2	2,92	8,91	11,98	74,4
НІР _{0,05}	0 – 20	0,28	0,21	0,28	0,14	0,33
	20 – 40	0,40	0,18	0,03	0,02	0,34

Таку тенденцію ми простежували також під час аналізу гідролітичної кислотності. Застосування ОСВ та компостів на його основі суттєво вплинуло на

динаміку цього показника в орному і підорному шарах дерново-підзолистого ґрунту. У варіанті без добрив показник вмісту гідролітичної кислотності зменшився з 3,27 до 2,80 ммоль/100 г ґрунту у верхньому шарі та з 3,30 до 2,85 ммоль/100 г ґрунту – у нижньому шарі.

Застосування мінеральної системи внесення добрив сприяло зменшенню вмісту показника гідролітичної кислотності і становило 3,24 – 3,26 ммоль/100 г ґрунту. Зменшення рівня гідролітичної кислотності відмічено за внесення компосту на основі ОСВ + солома (3:1) у дозі 20 т/га. Цей показник становив 2,80 ммоль/100 г ґрунту у верхньому (0 – 20 см) шарі та 2,85 ммоль/100 г ґрунту – в нижньому (20 – 40 см) шарі, що на 0,47 – 0,45 ммоль/100 г ґрунту менше порівняно з контролем без добрив [106].

Підвищення доз внесення осаду стічних вод сприяло зниженню показника гідролітичної кислотності у верхньому та нижньому шарах дерново-підзолистого ґрунту.

В контрольному варіанті без внесення добрив показник суми увібраних основ у верхньому (орному) і нижньому (підорному) шарах ґрунту становив відповідно 8,49 та 8,42 ммоль/100 г ґрунту відповідно. Внесення мінеральних добрив сприяло підвищенню показника на 0,080 – 0,022 ммоль/100 г порівняно з контролем без добрив. Після внесення свіжого ОСВ показник суми увібраних основ підвищився до 9,100 ммоль/100 г у орному шарі (0 – 20 см) ґрунту.

Показник ємності поглинання катіонів дерново-підзолистого ґрунту також залежав від внесених добрив. Зокрема, у контрольному варіанті він становив 11,70 ммоль/100 г ґрунту. Застосування мінеральних добрив позитивно впливало на показник ємності поглинання катіонів і забезпечило його підвищення до 11,76 ммоль/100 г ґрунту у верхньому (0 – 20 см) шарі ґрунту. Внесення свіжого ОСВ сприяло підвищенню цього показника до 11,87 ммоль/100 г ґрунту в орному (0 – 20 см) шарі ґрунту. Саме під впливом органічних добрив ОСВ та компостів на їх основі покращується мікроагрегатний склад ґрунту і зростає кількість увібраного кальцію і калію ґрунтовим вбирним комплексом [312].

Ступінь насичення основами на контролі без добрив становив 72,6% в орному шарі та 71,6% в підорному шарі ґрунту. Після внесення мінеральних добрив цей показник підвищився на 1,1 % на глибині 0 – 20 см та на 1,9% на глибині 20 – 40 см ґрунту порівняно з контрольним варіантом. Найвищі показники ступеня насичення основами (76,7%) відмічено у варіанті, де вносили свіжий ОСВ у дозі 80 т/га.

В умовах досліду простежується чітка тенденція до підвищення ступеня насичення основами під впливом внесення осаду стічних вод та компостів на їх основі. Ця зміна за варіантами досліду простежується в межах 0,9 – 1,2% від абсолютних показників.

Під впливом внесення ОСВ та компостів на його основі знижувався також показник гідролітичної кислотності з 3,27 до 2,80 ммоль/100 г ґрунту. При цьому спостерігали взаємозалежність зміни обмінної та гідролітичної кислотності (рис. 4.1).

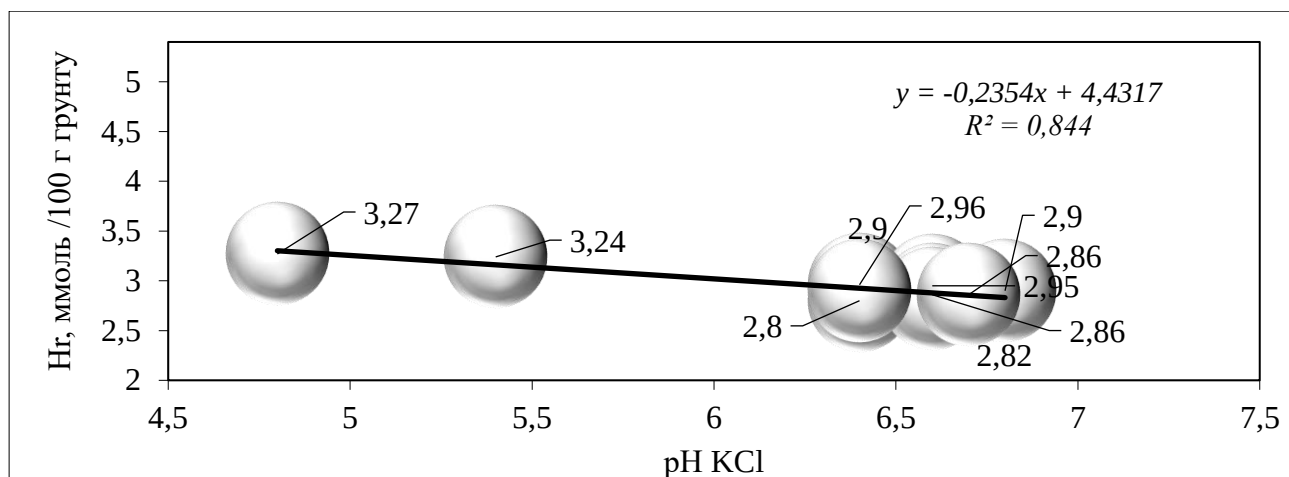


Рис. 4.1 Залежність pH_{KCl} від гідролітичної кислотності у шарі 0 – 20 см дерново-підзолистого ґрунту після повторного внесення осаду стічних вод під вербу енергетичну

Для верхнього (0 – 20 см) шару ґрунту цю залежність можна описати таким лінійним рівнянням регресії:

$$y = -0,2354x + 4,4317, \quad (4.1)$$

де y – показник гідролітичної кислотності, ммоль/100г ґрунту;

x – величина pH_{KCl} .

Множинний коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,84$) вказує на високу залежність величини pH_{KCl} від гідролітичної кислотності. Так, у нижньому шарі (20 – 40 см) дерново-підзолистого ґрунту у випадку вирощування верби енергетичної така залежність простежувалась чіткіше і її можна описати таким лінійним рівнянням регресії:

$$y = -0,2587x + 4,5173, \quad (4.2)$$

де y – показник гідролітичної кислотності, ммоль/100г ґрунту;

x – величина pH_{KCl} (рис. 4.2).

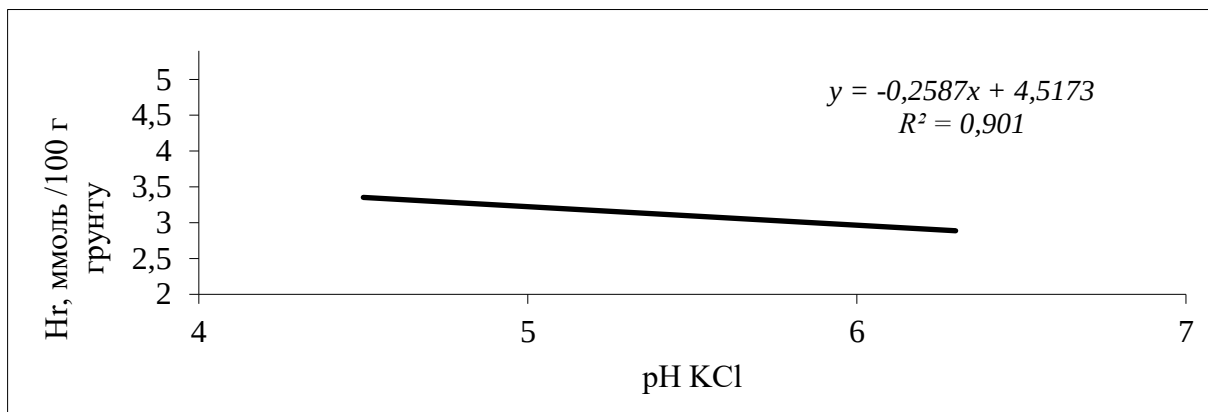


Рис. 4.2 Залежність pH_{KCl} від гідролітичної кислотності у шарі 20 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту після повторного внесення ОСВ під вербу енергетичну

Множинний коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,90$) вказує на високу залежність величини pH_{KCl} від гідролітичної кислотності.

У наших дослідженнях внесення добрива істотно впливало також на вміст катіонів у дерново-підзолистому ґрунті.

Найкращі показники відмічено після повторного внесення ОСВ у дозі 80 т/га та компосту на його основі з тирсою (3:1) у дозі 60 т/га. Незначно показники погіршувалися у випадку повторного внесення компостів ОСВ з соломною.

Застосування мінеральних добрив не забезпечило значних позитивних зрушень у показниках фізико-хімічних властивостей дерново-підзолистого ґрунту.

Після внесення свіжого ОСВ у дозі 40 т/га сума увібраних катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} становила 81,85 і 69,27 ммоль/100 г ґрунту відповідно у верхньому (0 – 20 см) і нижньому (20 – 40 см) шарах ґрунту.

Внесення компостів ОСВ з тирсою і соломою забезпечило деяке зниження показників суми увібраних катіонів порівняно з варіантами, де вносили свіжий ОСВ, але переважали показники, де вносили лише мінеральні добрива (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Зміна вмісту катіонів у дерново-підзолистому ґрунті після повторного внесення ОСВ під вербу енергетичну 2022 рік [111].

Варіант досліджу	Шар грунту, см	Кількість еквівалентів катіонів					Ca ²⁺ + Mg ²⁺	<u>Ca²⁺</u> Mg ²⁺
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ		
		ммоль/100 г ґрунту						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.Без добрив (контроль)	0 – 20	2,50	0,26	0,14	79	81,9	2,76	9,61
	20 – 40	3,48	0,29	0,12	64	67,89	3,77	12,00
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0 – 20	3,85	0,33	0,15	56	60,33	4,18	11,66
	20 – 40	4,48	0,34	0,15	93	98,31	4,82	13,18
3. ОСВ – 40 т/Га	0 – 20	4,38	0,33	0,14	77	81,85	4,71	13,27
	20 – 40	4,79	0,34	0,14	64	69,27	5,13	14,08
4. ОСВ – 60 т/Га	0 – 20	5,21	0,35	0,17	96	101,7	5,56	14,88
	20 – 40	5,84	0,37	0,15	73	79,36	6,21	15,78
5. ОСВ – 80 т/Га	0 – 20	5,54	0,41	0,19	102	108,1	5,95	13,51
	20 – 40	5,90	0,42	0,17	85	91,49	6,32	14,05
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/Га	0 – 20	4,81	0,37	0,16	96	101,3	5,18	13,00
	20 – 40	6,11	0,39	0,15	63	69,65	6,5	15,67

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 – 20	4,06	0,28	0,14	56	60,48	4,34	14,5
	20 – 40	4,21	0,28	0,14	53	57,63	4,49	15,03
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 – 20	4,26	0,32	0,15	72	76,73	4,58	13,3
	20 – 40	4,40	0,32	0,15	68	72,87	4,72	13,75
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	4,54	0,33	0,16	97	102,0	4,87	13,76
	20 – 40	4,69	0,33	0,15	71	76,17	5,02	14,21
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10%) – 40 т/га	0 – 20	5,30	0,34	0,15	76	81,79	5,64	15,59
	20 – 40	5,80	0,35	0,14	53	59,29	6,15	16,58

Показники складу увібраних основ визначають рівень родючості ґрунту та значною мірою впливають на ефективність застосування добрив [34]. Повторне внесення ОСВ у різних дозах сприяло відповідному збільшенню вмісту кальцію та магнію у ґрунтовому вбирному комплексі.

Найвищі показники забезпечили варіанти за внесення ОСВ у дозі 80 т/га та компосту на його основі з тирсою (3:1) у дозі 60 т/га. Близькі за значеннями вмісту кальцію і магнію забезпечили варіанти з внесенням компостів на основі осаду стічних вод з соломою.

Співвідношення $\text{Ca}^{2+} : \text{Mg}^{2+}$ характеризує ступінь забезпеченості вбирного комплексу кальцієм. Непропорційність у зростанні показників вмісту кальцію і магнію під впливом різних систем внесення добрив під вербу енергетичну забезпечила зміну співвідношення між цими катіонами. В умовах дослідів співвідношення змінювалося з 9,61 на контрольному без внесення добрив до

13,51 у варіанті, де застосовували ОСВ у дозі 80 т/га. Повторне застосування компостів на основі осаду стічних вод сприяло покращенню кислотно-основних властивостей дерново-підзолистого ґрунту.

У наших дослідженнях за вирощування верби енергетичної вміст Ca^{2+} і Mg^{2+} у ґрунтовому вбирному комплексі залежав від застосування різних систем внесення добрив.

На контролі без добрив вміст кальцію становив 2,5 в шарі ґрунту 0 – 20 см і з глибиною підвищився до 3,5 ммоль/100 г ґрунту [112]. Застосування мінеральних добрив сприяло підвищенню вмісту кальцію до 3,8 і 4,5 ммоль/100 г ґрунту відповідно у верхньому (0 – 20 см) і нижньому (20 – 40 см) шарах ґрунту (рис. 4.3).

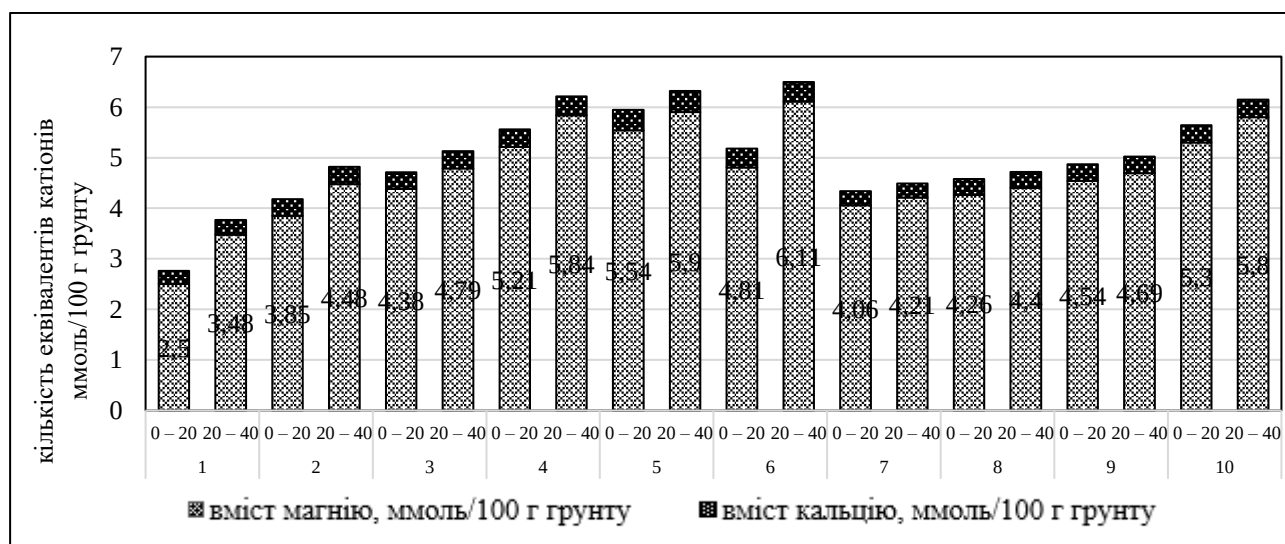


Рис. 4.3 Динаміка зміни вмісту кальцію та магнію під впливом повторного внесення ОСВ під вербу енергетичну на глибині ґрунту 0 – 40 см

За внесення ОСВ у дозі 80 т/га вміст Ca^{2+} у ґрунті становив 5,5 – 5,9 ммоль/100 г ґрунту, а застосування компостів на основі ОСВ забезпечило вміст Ca^{2+} у широких межах на рівні 4,8 – 5,3 ммоль/100 г ґрунту.

Вміст Mg^{2+} змінювався не так суттєво – від 0,26 до 0,41 ммоль/100 г ґрунту та зростав із підвищенням дози повторного внесення ОСВ.

У варіантах, де вносили компости ОСВ з тирсою і соломою вміст Mg^{2+} становив 0,34 – 0,37 ммоль/100г ґрунту.

Сумісне внесення ОСВ та мінеральних добрив у різних дозах сприяло відповідному збільшенню вмісту кальцію та магнію у ґрунтовому вбирному комплексі.

Така тенденція нами простежувалась і під час аналізу гідролітичної кислотності.

Застосування сумісно ОСВ та мінеральних добрив суттєво вплинуло на динаміку цього показника в орному і підорному шарах дерново-підзолистого ґрунту (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Зміна фізико-хімічних показників ґрунту під впливом внесення ОСВ за вирощування трав'янистих культур, середні показники за 2016 – 2022 роки [48].

Варіант досліджу	Шар ґрунту, см	pH_{KCl}	Нг	Сума увібраних основ, (S)	Ємність поглинання, (Т)	Ступінь насичення основами (V, %)
1	2	3	4	5	6	7
1. Без внесення добрив – контрольний	0 – 20	4,8	3,10	8,49	11,70	72,5
	20 – 40	4,9	3,30	8,42	11,75	71,6
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$;	0 – 20	5,2	3,08	8,53	11,71	72,8
	20 – 40	5,2	3,15	8,50	11,69	72,6
3. $N_{90}P_{90}K_{90}$	0 – 20	5,2	3,06	8,56	11,72	73,0
	20 – 40	5,1	3,17	8,54	11,70	72,9
4. ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	0 – 20	5,3	2,37	8,70	11,74	74,1
	20 – 40	5,1	2,99	8,66	11,76	73,6
5. ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	0 – 20	5,4	2,94	8,74	11,79	74,1
	20 – 40	5,3	2,97	8,70	11,80	73,7
6. ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$;	0 – 20	5,7	2,90	8,76	11,82	74,1
	20 – 40	5,4	2,92	8,74	11,83	73,8

1	2	3	4	5	6	7
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	5,2	2,88	8,70	11,79	73,7
	20 – 40	5,1	2,90	8,62	11,81	72,9
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0 – 20	5,6	2,84	8,78	11,80	74,4
	20 – 40	5,3	2,90	8,72	11,81	73,8
НІР _{0,05}	0 – 20	0,1	0,02	0,02	0,01	0,2
	20 – 40	0,1	0,01	0,02	0,01	0,2

У варіанті без внесення добрив показник вмісту гідролітичної кислотності зменшився з 3,10 до 2,37 ммоль/100 г ґрунту у верхньому шарі та з 3,30 до 2,90 ммоль/100 г ґрунту – у нижньому.

Застосування мінеральної системи внесення добрив сприяло зменшенню вмісту показника гідролітичної кислотності і становило 3,06 – 3,08 ммоль/100 г ґрунту (рис. 4.4).

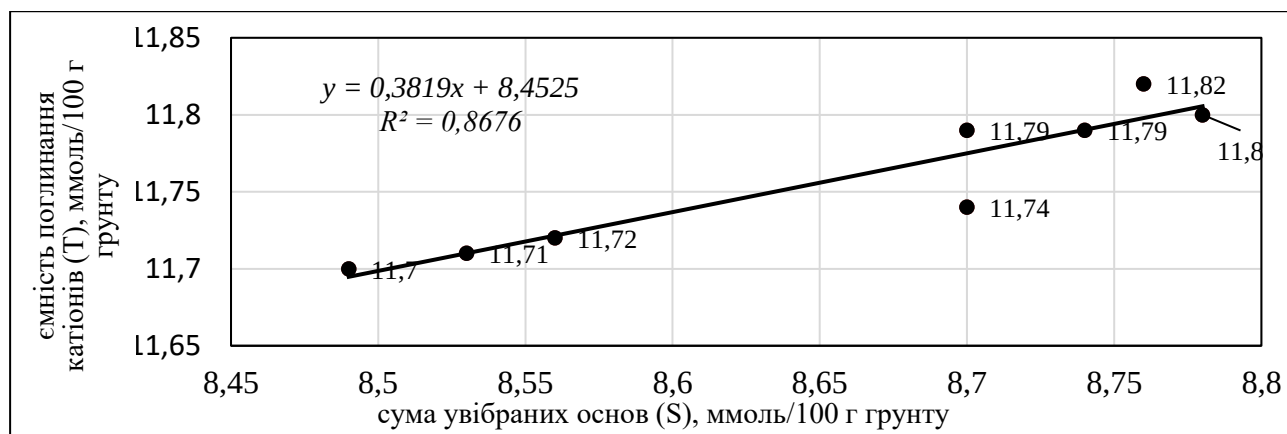


Рис. 4.4 Залежність ємності поглинання катіонів (Т) від суми увібраних основ (S) у шарі дерново-підзолистого ґрунту за внесення осаду стічних вод.

Цей зв'язок можна описати таким лінійним рівнянням регресії:

$$y = 0,319x + 8,4525,$$

де, y – ємність поглинання катіонів (Т), ммоль/100 г ґрунту;

x – сума увібраних основ (S) ммоль/100 г ґрунту.

Множинний коефіцієнт детермінації (R^2) становив 0,87, що вказує на тісний зв'язок між цими показниками.

Найвищі показники забезпечили варіанти внесення ОСВ у дозі 40 т/га, а близькі за значеннями вмісту кальцію і магнію – варіанти з внесенням компостів на основі осаду стічних вод з соломою.

Непропорційність у зростанні показників вмісту кальцію і магнію під впливом різних систем внесення добрив під сільфію пронизанолисту забезпечила зміну співвідношення між цими катіонами. В умовах дослідів співвідношення змінювалося з 8,93 на контролі без добрив до 14,38 у варіанті, де застосовували ОСВ у дозі 40 т/га (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

**Зміна вмісту катіонів у дерново-підзолистому ґрунті після внесення ОСВ,
під трав'янисті культури, середні показники за 2016 – 2022 роки**

Варіант дослідів	Шар ґрунту, см	Кількість еквівалентів катіонів					Ca ²⁺ + Mg ²⁺	$\frac{Ca^{2+}}{Mg^{2+}}$
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ		
		ммоль/100 г ґрунту						
1. Без внесення добрив – контроль	0 – 20	2,50	0,28	0,12	72	74,90	2,78	8,93
	20 – 40	3,42	0,29	0,10	57	60,81	3,71	11,80
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	3,16	0,30	0,13	59	62,59	3,46	10,53
	20 – 40	4,09	0,32	0,12	81	85,53	4,41	12,78
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	3,80	0,31	0,14	53	57,25	4,11	12,26
	20 – 40	4,30	0,33	0,12	90	94,75	4,63	13,03
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	4,17	0,29	0,12	59	63,58	4,46	14,38
	20 – 40	4,38	0,31	0,12	56	60,81	4,69	14,12
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	4,28	0,32	0,12	68	72,72	4,60	13,38
	20 – 40	4,45	0,33	0,12	61	65,90	4,78	13,48
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	4,57	0,33	0,13	76	81,03	4,90	13,85
	20 – 40	4,76	0,36	0,12	72	77,26	5,14	13,28
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	4,16	0,28	0,12	60	64,56	4,44	14,86
	20 – 40	4,29	0,28	0,11	57	61,74	4,57	15,32
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0 – 20	4,30	0,29	0,12	68	72,71	4,59	14,83
	20 – 40	4,57	0,29	0,12	60	64,98	4,86	15,76
НІР _{0,05}	0 – 20	0,2	0,1	0,1	1	2,1	1,02	1,01
	20 – 40	0,3	0,1	0,1	2	2,4	1,03	1,01

У дослідженнях з вирощуванням сільфії пронизанолистої вміст Ca^{2+} і Mg^{2+} у ґрунтовому вбирному комплексі залежав від застосування різних систем внесення добрив.

На контролі без добрив вміст кальцію становив 2,5 ммоль/100 г ґрунту в шарі ґрунту 0 – 20 см і з глибиною підвищився до 3,42 ммоль/100 г ґрунту. Застосування мінеральних добрив сприяло підвищенню вмісту кальцію до 3,16 – 3,82 і 4,09 – 4,30 ммоль/100 г ґрунту відповідно у верхньому (0 – 20 см) і нижньому (20 – 40 см) шарах ґрунту. Після внесення ОСВ у дозі 40 т/га вміст Ca^{2+} у ґрунті становив 4,57 ммоль/100 г ґрунту, а застосування компостів на основі ОСВ забезпечило вміст Ca^{2+} у широких межах на рівні 4,16 – 4,30 ммоль/100 г ґрунту (рис. 4.5).

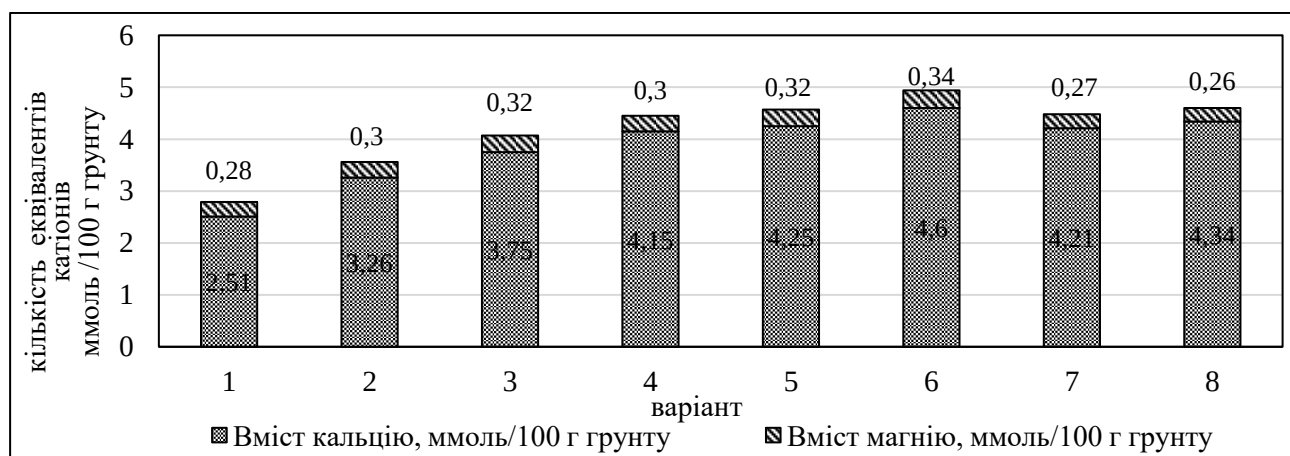


Рис.4.5 Динаміка зміни вмісту кальцію та магнію за внесення ОСВ для випадку вирощування трав'янистих культур, середній показник за 2016 – 2022 роки

Вміст Mg^{2+} у значно меншому діапазоні значень від 0,28 до 0,33 ммоль/100 г ґрунту та зростав із підвищенням дози внесення ОСВ.

Також зміни фізико-хімічних показників дерново-підзолистого ґрунту під впливом органічного добрива визначали і на дослідній ділянці, де вирощували топінамбур сорту «Львівський». У наших дослідженнях показник рН у контрольному варіанті становив 4,8 в орному (0 – 20 см) і 4,5 в підорному (20 – 40 см) шарах дерново-підзолистого ґрунту. Внесення мінеральних добрив у

посадки міскантуса сприяло підвищенню показника рН на 0,3 – 0,4 в орному і 0,5 – 0,6 в підорному шарах ґрунту.

Під впливом зростання дози внесення ОСВ разом із мінеральними добривами показник рН поступово зростає від 5,8 до 6,2 у орному та від 5,6 до 6,0 у підорному шарі ґрунту (табл. 4.5.)

Таблиця 4.5

Зміна фізико-хімічних показників дерново-підзолистого ґрунту за внесення ОСВ і компостів на його основі для випадку вирощування топінамбура, середні значення за 2016 – 2022 роки

Варіант досліджу	Шар ґрунту, см	рН _{KCl}	Н _г	Сума увібраних основ, (S)	Ємність поглинання, (Т)	Ступінь насичення основами (V, %)
1. Без внесення добрив – контроль	0 – 20	4,8	3,10	8,49	11,72	72,4
	20 – 40	4,5	3,30	8,42	11,75	71,6
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	5,1	3,14	8,51	11,73	72,6
	20 – 40	5,0	3,16	8,49	11,70	72,6
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	5,2	3,15	8,62	11,74	73,5
	20 – 40	5,1	3,18	8,60	11,70	73,5
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	5,8	2,96	8,72	11,75	74,3
	20 – 40	5,6	2,98	8,70	11,77	73,9
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	6,0	2,91	8,76	11,78	74,4
	20 – 40	5,9	2,94	8,74	11,81	74,0
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	6,2	2,88	8,80	11,82	74,5
	20 – 40	6,0	2,90	8,79	11,84	74,2
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	6,0	2,86	8,96	11,84	75,7
	20 – 40	5,8	2,91	8,90	11,87	74,9
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0 – 20	6,2	2,84	8,99	11,86	75,8
	20 – 40	6,1	2,87	8,96	11,87	75,5
НІР _{0,05}	0 – 20	0,21	0,12	0,11	0,17	0,13
	20 – 40	0,27	0,14	0,16	0,12	0,15

Така ж тенденція нами простежувалась і під час аналізу гідролітичної кислотності. Підвищення доз внесення осаду стічних вод сприяло зниженню показника гідролітичної кислотності у верхньому та нижньому шарах дерново-підзолистого ґрунту у випадку вирощування топінамбура. Найнижчі показники гідролітичної кислотності спостерігались після внесення компосту на основі ОСВ та соломи (3:1)) у дозі 30 т/га + $N_{30}K_{55}$.

На контролі без внесення добрив показник суми увібраних основ у верхньому (орному) і нижньому (підорному) шарах ґрунту становив 8,49 та 8,42 ммоль/100 г ґрунту відповідно. Внесення мінеральних добрив сприяло підвищенню показника на 0,12 – 0,13 ммоль/100 г порівняно з контрольним варіантом без внесення добрив. За внесення свіжого ОСВ (варіанти 4 – 6) показник суми увібраних основ підвищився до 8,72 – 8,80 ммоль/100 г у орному шарі (0 – 20 см) ґрунту.

Показник ємності поглинання катіонів дерново-підзолистого ґрунту також залежав від внесених добрив. Зокрема, у контрольному варіанті він становив 11,72 ммоль/100 г ґрунту (рис. 4.6).

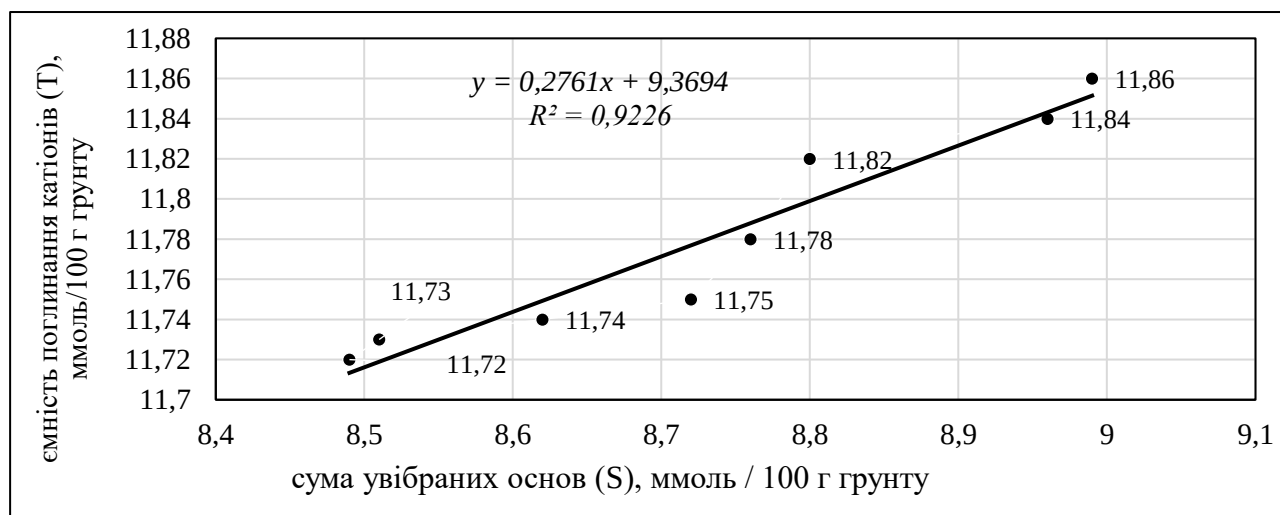


Рис.4.6. Залежність ємності поглинання катіонів (Т) від суми увібраних основ (S) у шарі дерново-підзолистого ґрунту за внесення ОСВ для вирощування топінамбура

Застосування мінеральних добрив позитивно впливало на показник ємності поглинання катіонів і забезпечило його зростання до 11,73 – 11,74 ммоль/100 г ґрунту у верхньому (0 – 20 см) шарі ґрунту. Внесення свіжого ОСВ сприяло підвищенню цього показника до 11,82 ммоль/100 г ґрунту в орному (0 – 20 см) шарі ґрунту.

Цей зв'язок можна описати таким лінійним рівнянням регресії:

$$y = 0,2761x + 9,3694,$$

де, y – ємність поглинання катіонів (Т), ммоль/100 г ґрунту;

x – сума увібраних основ (S) ммоль/100 г ґрунту.

Множинний коефіцієнт детермінації (R^2) становив 0,92, що вказує на дуже тісний, майже функціональний, зв'язок між цими показниками.

Загалом, у підсумку проведених досліджень можна стверджувати, що внесення ОСВ як органічного добрива покращує фізико-хімічні властивості дерново-підзолистого ґрунту для вирощування фітоенергетичних культур.

Так під час вирощування топінамбура сорту «Львівський» найкращі показники спостерігалися після внесення ОСВ у дозі 40 т/га. Незначно показники погіршувалися у разі внесення компостів ОСВ з соломою.

У випадку внесення свіжого ОСВ + $N_{10}P_{14}K_{58}$ у дозі 40 т/га сума увібраних катіонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ становила 77,93 і 63,86 ммоль/100 г ґрунту відповідно у верхньому (0 – 20 см) і нижньому (20 – 40 см) шарах ґрунту. Внесення компостів ОСВ із соломою забезпечило деяке зниження показників суми увібраних катіонів порівняно з варіантами, де вносили свіжий ОСВ.

Внесення ОСВ у різних дозах сприяло відповідному збільшенню вмісту кальцію та магнію у ґрунтовому вбирному комплексі.

Найвищі показники забезпечили варіанти із внесенням ОСВ у дозі 40 т/га. Близькі за значеннями вмісту кальцію і магнію забезпечили варіанти з внесенням компостів на основі осаду стічних вод з соломою.

Співвідношення $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ характеризує ступінь забезпеченості вбирного комплексу кальцієм. Непропорційність у зростанні показників вмісту кальцію і

магнію під впливом різних систем внесення добрив на ділянках з топінамбуром забезпечила зміну співвідношення між цими катіонами.

В умовах дослідів співвідношення змінювалося з 8,1 на контролі без добрив до 13,3 у варіанті, де застосовували ОСВ у дозі 40 т/га (табл. 4.6).

Таблиця 4.6

Зміна вмісту катіонів у дерново-підзолистому ґрунті після внесення ОСВ, під топінамбур, (середній показник станом на 2016 – 2022 рр.)

Варіант дослідів	Шар ґрунту, см	Кількість еквівалентів катіонів					Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Ca ²⁺ / Mg ²⁺
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ		
		ммоль/100 г ґрунту						
1. Без внесення добрив – контроль	0 – 20	2,51	0,31	0,11	75	77,93	2,82	8,1
	20 – 40	3,46	0,33	0,07	60	63,86	3,79	10,5
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	3,30	0,33	0,13	45	48,76	3,63	10,0
	20 – 40	4,05	0,34	0,10	66	70,49	4,39	11,9
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	3,80	0,35	0,11	53	57,26	4,15	10,8
	20 – 40	4,25	0,35	0,11	83	87,66	4,55	12,1
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	4,20	0,33	0,12	75	79,65	4,53	12,7
	20 – 40	4,35	0,34	0,12	65	69,81	4,69	12,8
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	4,30	0,33	0,12	87	91,75	4,63	13,0
	20 – 40	4,55	0,34	0,12	73	78,01	4,89	13,3
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	4,65	0,35	0,12	102	107,1	5,00	13,3
	20 – 40	4,86	0,39	0,11	84	89,36	5,25	12,5
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	4,26	0,32	0,11	79	83,69	4,58	13,3
	20 – 40	4,37	0,29	0,11	65	69,77	4,66	15,0
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0 – 20	4,39	0,32	0,12	88	92,83	4,71	13,7
	20 – 40	4,67	0,31	0,11	72	77,09	4,98	15,0
НІР _{0,05}	0 – 20	0,2	0,1	0,1	1,0	2,01	1,02	0,1
	20 – 40	0,1	0,1	0,1	1,0	2,8	1,03	0,1

У наших дослідженнях з вирощуванням топінамбура вміст Ca²⁺ і Mg²⁺ у ґрунтового вбирному комплексі залежав від застосування різних схем внесення добрив. Так, внесення ОСВ та компостів на його основі впливають на динаміку кислотно-основних властивостей дерново - підзолистого ґрунту.

Внесення мінеральних добрив сприяє підвищенню гідролітичної кислотності, зменшенню вмісту катіонів кальцію та магнію. Застосування сумісно ОСВ та мінеральних добрив забезпечувало зниження вмісту обмінного водню в орному і підорному шарах, сприяло підвищенню вмісту катіонів кальцію та магнію та зростанню співвідношення між кальцієм та магнієм (рис. 4.7).

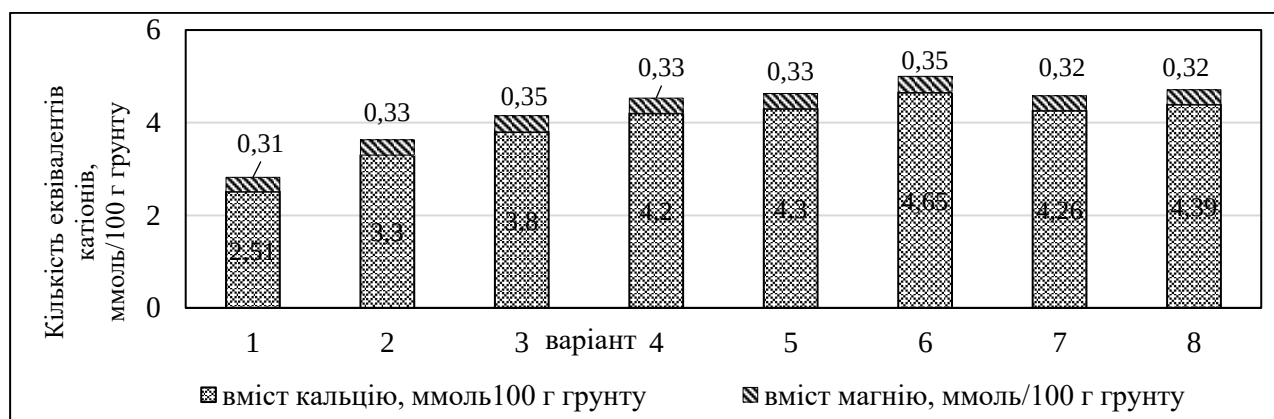


Рис.4.7. Динаміка вмісту кальцію та магнію за внесення ОСВ, під топінамбур

Кількість органічної речовини в ґрунті визначає рівень його родючості. Усі фактори родючості ґрунту тісно пов'язані й взаємозалежні. Від вмісту органічної речовини залежать: фізичні властивості, структурність, теплові та водні властивості, пористість, біологічна активність, поживний режим і поглинальна здатність ґрунтів тощо. Заходи щодо підвищення родючості ґрунтів та врожайності сільськогосподарських культур тісно пов'язуються зі створенням стабільного бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті [34].

У наших дослідженнях вміст органічної речовини суттєво змінювався під впливом повторного застосування добрив, в тому числі й після внесення ОСВ (Додаток Д.1 і Д.2).

Результати визначення активного (лабільного) гумусу показали, що після повторного внесення осаду стічних вод як добрив під вербу енергетичну його вміст зростав. Найвищі показники вмісту лабільного гумусу спостерігали у варіантах, де повторно вносилися дози ОСВ 60 – у дозі 80 т/га.

Варто зазначити, що практично у всіх варіантах дослід у верхньому шарі вміст лабільного гумусу коливався в межах 0,64 – 0,72%, це вказує на наявність в орному шарі ґрунту органічного карбону і відповідно після внесення осаду стічних вод вміст органічних сполук підвищується із збільшенням дози внесення ОСВ.

Показники лабільного гумусу показники пасивного (стабільного) гумусу підвищувались після повторного внесення осаду стічних вод. У випадку внесення осаду стічних вод у дозі 40 – 80 т/га вміст пасивного гумусу становить 1,07 – 1,13 %.

Отже, з підвищенням дози ОСВ зростає вміст пасивного гумусу (рис.4.8).

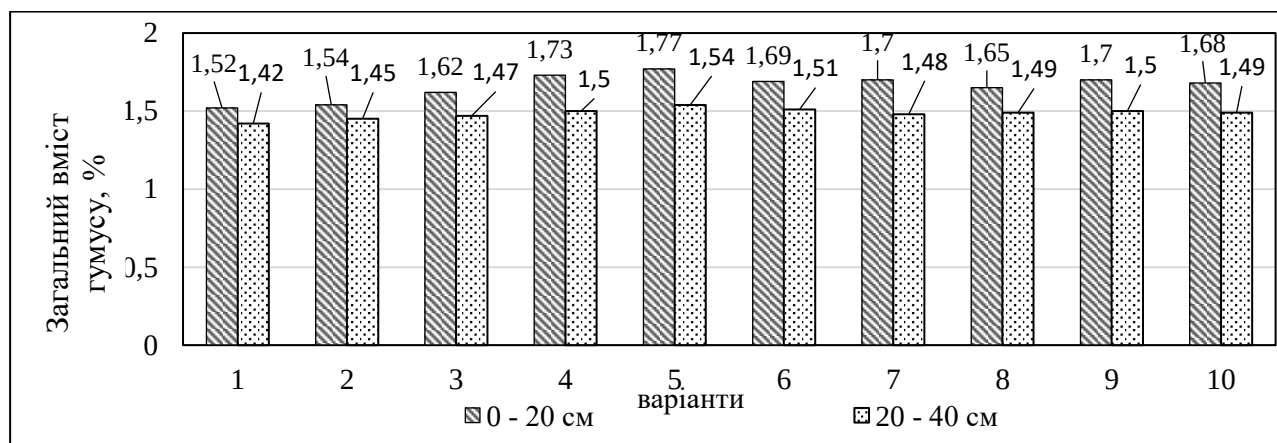


Рис.4.8. Динаміка вмісту загального гумусу після повторного внесення ОСВ на глибині 0 – 40 см, середні показники за 2016-2022 роки

1. Контроль – без внесення добрив;	7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га;
2. Мінеральні добрива – $N_{100}P_{100}K_{100}$;	8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га;
3. ОСВ – 40 т/га;	9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га;
4. ОСВ – 60 т/га;	10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га.
5. ОСВ – 80 т/га;	
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га;	

Порівнюючи варіант, де вносили компост на основі ОСВ та соломи (3 : 1) у дозі 40 т/га і такої ж кількості компосту тільки з додаванням 10% цементного пилу вміст активного гумусу залишився на рівні 0,65%, проте вміст цементного

пилу сприяв збільшенню активного гумусу і становив 0,66% відповідно, при цьому вміст загального гумусу зменшується на 0,02% порівняно з внесенням 40 т/га ОСВ + солома [113].

Результати визначення активного (лабільного) гумусу показали, що після внесення осаду стічних вод як добрив його вміст зростав. Найвищі показники вмісту лабільного гумусу спостерігали у варіантах, де вносилися найвищі дози органічних добрив. Варто зазначити, що практично у всіх варіантах дослід у верхньому шарі вміст лабільного гумусу коливався в межах 0,61 – 0,64%.

На відміну від показників лабільного гумусу, показники пасивного (стабільного) гумусу підвищувались у разі внесення ОСВ. Після повторного внесення ОСВ у дозі 40 т/га вміст пасивного гумусу становить 1,09%.

Із підвищенням дози осаду стічних вод підвищився і вміст пасивного гумусу – до 1,74%. На противагу у верхньому (0 – 20 см) і нижньому (20 – 40 см) шарах ґрунту частка стабільного гумусу на контролю без добрив становила 1,00 – 0,88%.

Після внесення мінеральних добрив $N_{100}P_{100}K_{100}$ частка стабільного гумусу зростала у верхньому і нижньому шарах на 0,3%.

Також порівнювали вміст гумусу в ґрунті під час садіння та у процесі вирощування верби енергетичної аж до першого зрізування пагонів та вміст загального гумусу під час повторного внесення добрив після відновлення вегетації культури та після зрізування.

Залежність вмісту гумусу (середнє 2016 – 2022 роки) від норм внесення ОСВ:

$$y = 1,0757x - 0,0923,$$

де y – показник гумусу (середнє за 2016 – 2022 роки);

x – показник гумусу (середнє за 2011 – 2015 роки).

Множинний коефіцієнт детермінації R^2 становив 0,96, що вказує на високу тісноту зв'язку (рис. 4.9).

Результати визначення активного (лабільного) гумусу показали, що після внесення осаду стічних вод як добрив його вміст зростав. Найвищі показники вмісту лабільного гумусу спостерігали у варіантах, де вносилися ОСВ.

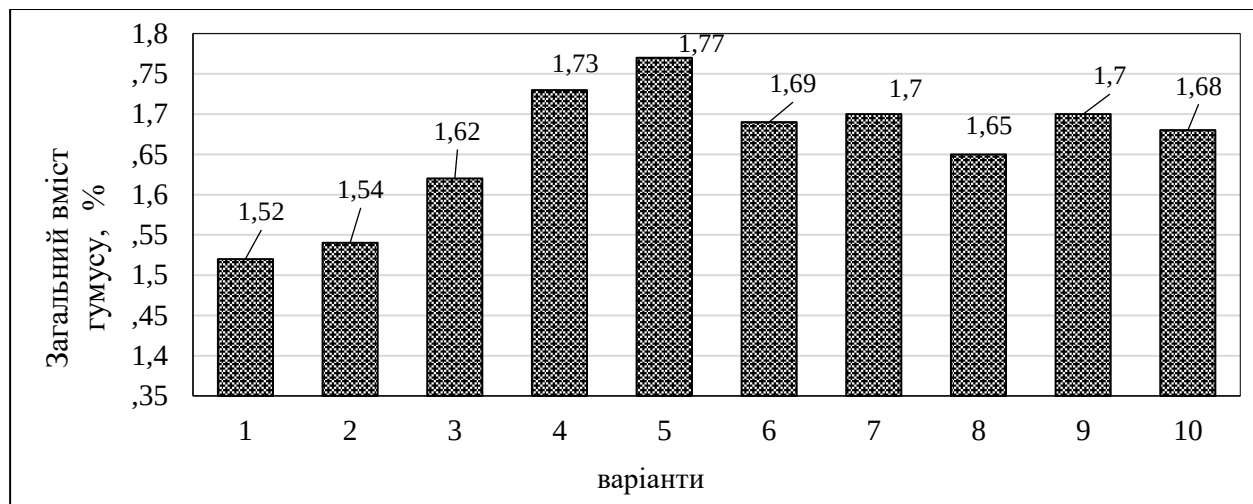


Рис. 4.9 Динаміка вмісту загального гумусу за внесення ОСВ та компостів на їх основі під вербу енергетичну

Варто зазначити, що практично у всіх варіантах дослід у верхньому шарі вміст лабільного гумусу коливався в межах 0,60 – 0,66%.

На відміну від показників лабільного гумусу, показники пасивного (стабільного) гумусу підвищувались у випадку внесення ОСВ. За повторного внесення осаду стічних вод у дозі 40 т/га вміст пасивного гумусу становить 1,04%.

Із підвищенням дози ОСВ підвищився і вміст пасивного гумусу - до 1,12% (табл. 4.7). Зокрема у верхньому (0 – 20 см) і нижньому (20 – 40 см) шарах ґрунту частка стабільного гумусу на контролі без добрив становила 1,02 – 0,95% (табл. 4.7). Аналітичний огляд літератури з питань впливу внесення добрив на фракційно - груповий склад гумусу вказує, що тривале застосування гною і мінеральних добрив підвищує вміст у ґрунті груп гумінових і фульвокислот та зменшує вміст негідролізованого залишку порівняно з неудобреними ділянками.

Таблиця 4.7

Динаміка вмісту лабільних і стабільних форм гумусу після повторного внесення ОСВ під вербу енергетичну (2016 – 2022 рр.)

Варіант	Шар ґрунту	Га	Гп	Гзаг	Га до Гзаг
1. Без внесення добрив – контроль	0 – 20	0,51	1,01	1,52	34
	20 – 40	0,45	0,97	1,42	32
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0 – 20	0,52	1,02	1,54	34
	20 – 40	0,54	0,91	1,45	37
3. ОСВ – 40 т/га	0 – 20	0,58	1,04	1,62	36
	20 – 40	0,54	0,93	1,47	37
4. ОСВ – 60 т/га	0 – 20	0,61	1,12	1,73	35
	20 – 40	0,55	0,95	1,50	37
5. ОСВ – 80 т/га	0 – 20	0,65	1,12	1,77	37
	20 – 40	0,57	0,97	1,54	37
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	0,63	1,06	1,69	37
	20 – 40	0,50	1,01	1,51	33
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 – 20	0,61	1,01	1,62	38
	20 – 40	0,52	0,96	1,48	35
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 – 20	0,61	1,04	1,65	37
	20 – 40	0,51	0,98	1,49	34
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	0,61	1,09	1,70	36
	20 – 40	0,55	0,95	1,50	37
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10%) – 40 т/га	0 – 20	0,63	1,05	1,68	37
	20 – 40	0,53	0,96	1,49	36

Варто зазначити, що в науковій літературі є дуже небагато повідомлень стосовно динаміки фракційно-групового складу саме дерново-підзолистого

грунту під впливом внесення ОСВ [111]. На контролі без внесення добрив вміст гумінових кислот становив 0,23% у шарі 0 – 20 см. Застосування мінеральної системи внесення добрив підвищила абсолютний показник гумінових кислот до 0,27%. Проте найвищий відсоток 0,15% спостерігався після повторного внесення осаду стічних вод у дозі 80 т/га. Вміст фульвокислот у гумусі також залежав від внесених добрив. Із внесенням ОСВ в дозі 40 – 80 т/га зростала частка гумінових кислот та зменшувалась частка фульвокислот. В умовах дослідів істотно змінювався вміст нерозчинного залишку в гумусі. Зокрема, на контролі без внесення добрив він становив 0,63%.

Мінеральні органічні добрива сприяли поступовому підвищенню вмісту нерозчинного залишку в гумусі до 0,8. Вміст нерозчинного залишку збільшувався у варіантах, де повторно застосовували компости на основі ОСВ у межах 0,8 – 1,03%.

Співвідношення гумінових кислот до фульвокислот показує спрямованість процесів мінералізації органічної речовини та слугує індикатором гумусового стану ґрунту [112]. В умовах дослідів у верхньому (0 – 20 см) шарі ґрунту співвідношення гумінових кислот до фульвокислот змінювалося у межах 0,7 – 1,1%.

Аналізуючи дані вмісту гумусу в підорному шарі, слід відзначити схожу тенденцію, яка нами була встановлена в орному шарі 0 – 20 см, проте у гумусі підорного шару (20 – 40 см) зменшувалась частка гумінових кислот та збільшувалась частка фульвокислот (табл. 4.8).

Доцільно зауважити, внесення більших доз ОСВ сприяє підвищенню показників гумінових кислот (С органічного) варіанти 5 – 6 (ОСВ – 80 т/га та компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га).

Внесення компосту на основі ОСВ та соломи (3:1) з додаванням цементного пилу 10 % у дозі 40 т/га показник гумінових кислот становив – 0,32% в орному шарі ґрунту та 0,16% в підорному.

Таблиця 4.8

**Фракційно-груповий склад гумусу ґрунту за вирощування верби
енергетичної, % (2016 – 2022 рр.) [48].**

Варіант	Шар ґрунту, см	С орг	С органічний						ГК/ФК Всього
			Розчинний					Нерозчинний залишок	
			Всього	Гумінові кислоти			Фульвокислоти		
				Всього	Вільні і зв'язані	Зв'язані з кальцієм			
1. Без добрив – контроль	0 – 20	1,20	0,57	0,23	0,12	0,11	0,34	0,63	0,7
	20 – 40	1,16	0,45	0,11	0,09	0,02	0,34	0,61	0,3
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0 – 20	1,40	0,59	0,27	0,14	0,13	0,32	0,81	0,8
	20 – 40	1,20	0,55	0,20	0,15	0,05	0,35	0,65	0,6
3. ОСВ – 40 т/га	0 – 20	1,37	0,57	0,28	0,14	0,14	0,29	0,80	0,9
	20 – 40	1,12	0,53	0,19	0,15	0,04	0,34	0,59	0,6
4. ОСВ – 60 т/га	0 – 20	1,41	0,57	0,31	0,16	0,15	0,26	0,84	1,1
	20 – 40	1,18	0,55	0,20	0,15	0,05	0,35	0,63	0,6
5. ОСВ – 80 т/га	0 – 20	1,62	0,59	0,35	0,19	0,16	0,24	1,03	1,0
	20 – 40	1,23	0,57	0,22	0,16	0,06	0,35	0,66	0,6
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	1,38	0,62	0,32	0,16	0,16	0,30	0,76	1,1
	20 – 40	1,15	0,53	0,18	0,14	0,04	0,35	0,62	0,5
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 – 20	1,31	0,54	0,27	0,15	0,12	0,27	0,77	1,0
	20 – 40	1,03	0,49	0,16	0,13	0,03	0,33	0,54	0,5
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 – 20	1,34	0,56	0,31	0,17	0,14	0,25	0,78	1,2
	20 – 40	1,07	0,50	0,16	0,13	0,03	0,34	0,57	0,5
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	1,40	0,57	0,35	0,19	0,16	0,22	0,83	1,6
	20 – 40	1,13	0,54	0,19	0,15	0,04	0,35	0,59	0,5
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0 – 20	1,35	0,57	0,32	0,17	0,15	0,25	0,78	1,3
	20 – 40	1,06	0,50	0,16	0,13	0,03	0,34	0,56	0,5

Під час вирощування сільфії пронизанолистої, міскантуса та світчграсу вміст активного гумусу також зростав після внесення добрив.

Найвищі показники вмісту лабільного гумусу спостерігали у варіантах, де вносилися сумісно ОСВ та мінеральні добрива. Варто зазначити, що практично у всіх варіантах дослід у верхньому шарі вміст лабільного гумусу коливався в межах 0,60 – 0,66%.

На відміну від показників лабільного гумусу, показники пасивного (стабільного) гумусу підвищувались за внесення осаду стічних вод. Так, після повторного внесення осаду стічних вод у дозі 40 т/га вміст пасивного гумусу становив 1,04%. Із підвищенням дози осаду стічних вод підвищувався і вміст пасивного гумусу – до 1,12% (рис. 4.10). Зокрема у верхньому (0 – 20 см) і нижньому (20 – 40 см) шарах ґрунту частка стабільного гумусу на контролі без внесення добрив становила 1,02 – 0,98%.

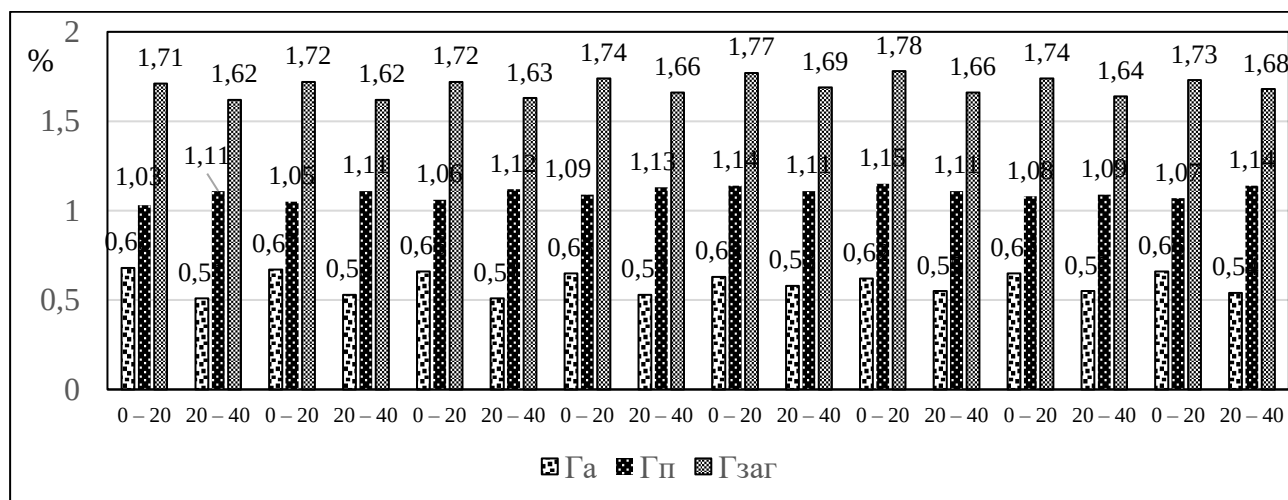


Рис.4.10. Фракційно-груповий склад гумусу ґрунту за внесення ОСВ та компостів на їх основі під трав'янисті енергетичні культури (середні показники за 2016 – 2022 рр.) [311].

На контролі без внесення добрив вміст гумінових кислот у випадку вирощування сільфії пронизанолистої, міскантуса та світчграса становив 0,29% у шарі 0 – 20 см. Застосування мінеральної системи у дозі 60 – 90 т/га підвищили абсолютний показник гумінових кислот до 0,32 – 0,35% (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

Фракційно-груповий склад гумусу ґрунту за внесення ОСВ та компостів на їх основі під трав'янисті культури, % (2016 – 2022 рр.)

Варіант	Шар ґрунту, см	С орг	С органічний						ГК/ФК
			Розчинний					Нерозчинний залишок	
			Всього	Гумінові кислоти			Фульвокислот и		
				Всього	Вільні і зв’язані	Зв’язані з кальцієм			
1. Без добрив – контроль	0 – 20	1,27	0,66	0,29	0,13	0,16	0,37	0,61	0,8
	20 – 40	1,03	0,43	0,08	0,07	0,01	0,35	0,60	0,2
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	1,48	0,66	0,32	0,17	0,15	0,34	0,82	0,9
	20 – 40	1,15	0,51	0,17	0,13	0,04	0,35	0,64	0,5
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	1,50	0,67	0,35	0,18	0,17	0,34	0,83	1,0
	20 – 40	1,18	0,52	0,18	0,14	0,04	0,34	0,66	0,5
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	1,37	0,59	0,34	0,20	0,14	0,25	0,78	1,4
	20 – 40	1,07	0,46	0,13	0,09	0,04	0,33	0,61	0,4
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	1,41	0,59	0,35	0,20	0,15	0,24	0,82	1,4
	20 – 40	1,10	0,50	0,15	0,11	0,04	0,35	0,6	0,4
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	1,43	0,58	0,37	0,21	0,16	0,42	0,85	0,9
	20-40	1,17	0,51	0,17	0,13	0,04	0,34	0,66	0,5
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0 – 20	1,40	0,60	0,33	0,19	0,14	0,27	0,80	1,2
	20 – 40	1,08	0,47	0,13	0,10	0,03	0,34	0,61	0,4
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0 – 20	1,40	0,58	0,35	0,21	0,14	0,29	0,82	1,5
	20 – 40	1,12	0,49	0,16	0,12	0,04	0,33	0,63	0,5

Проте найвищий відсоток гумінових кислот 0,37% було відмічено за внесення осаду стічних вод у дозі 40 т/га. Вміст фульвокислот у гумусі також залежав від внесених добрив.

Із внесенням ОСВ у дозі 20 – 40 т/га збільшувалась частка гумінових кислот та зменшувалась частка фульвокислот

На ділянках з посадками топінамбура вміст гумусу, як і у випадку вирощування інших фітоенергетичних культур, також змінювався і залежав від доз і схем внесення ОСВ (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Динаміка вмісту лабільних і стабільних форм гумусу за внесення ОСВ та компостів на їх основі під топінамбур, % (2016 – 2022 рр.)

Варіант	Шар ґрунту, см	Га	Гп	Гзаг	Га до Гзаг
1. Без внесення добрив (контроль)	0 – 20	0,68	1,02	1,71	47
	20 – 40	0,90	0,95	1,85	49
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	0,67	1,05	1,72	45
	20 – 40	0,82	1,05	1,87	44
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	0,66	1,06	1,72	45
	20 – 40	0,82	1,07	1,89	44
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	0,65	1,08	1,74	45
	20 – 40	0,79	1,12	1,91	41
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	0,97	1,26	1,77	43
	20 – 40	0,79	1,15	1,94	41
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	0,99	1,30	1,78	43
	20 – 40	0,81	1,17	1,98	41
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	0,97	1,19	1,74	45
	20 – 40	0,86	1,11	1,97	44
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0 – 20	0,98	1,23	1,73	44
	20 – 40	0,80	1,13	1,93	41

Отже, вміст активного гумусу у дерново-підзолистому ґрунті за внесення свіжого ОСВ знижувався, тоді як пасивного – зростав.

Після внесення компостів на основі ОСВ вміст пасивного гумусу зменшувався порівняно з варіантами, де вносили свіжий ОСВ, але залишався вищим порівняно з контролем без внесення добрив.

Унаслідок внесення свіжого ОСВ відбувається також збільшення частки гумінових кислот в гумусі. Так, вміст гумінових кислот у разі вирощування топінамбура становив 0,28% у шарі 0 – 20 см. Застосування мінеральної системи у нормі 60 – 90 удобрення підвищила абсолютний показник гумінових кислот до 0,32 – 0,34%. Проте найвищий відсоток 0,36% було відмічено у випадку внесення ОСВ у дозі 40 т/га (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

**Фракційно - груповий склад гумусу ґрунту за вирощування топінамбура,
% (2016 – 2022 рр.)**

Варіант	Шар ґрунту, см	Загальний гумус	С орг	С органічний						ГК/ФК
				Розчинний					Нерозчинний запасок	
				Всього	Гумінові кислоти			Фульвокислоти		
					Всього	Вільні і зв’язані	Зв’язані з кальцієм			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Без добрив – контроль	0 – 20	2,00	1,27	0,66	0,28	0,13	0,16	0,37	0,61	0,8
	20 – 40	1,85	1,03	0,43	0,08	0,07	0,01	0,35	0,60	0,2
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	2,08	1,40	0,64	0,32	0,17	0,15	0,32	0,76	1,0
	20 – 40	1,87	1,13	0,52	0,15	0,10	0,05	0,37	0,61	0,4
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	2,12	1,42	0,64	0,34	0,18	0,16	0,30	0,78	1,1
	20 – 40	1,89	1,18	0,56	0,19	0,13	0,06	0,37	0,62	0,5
4. ОСВ – 20 т/га N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄ +	0 – 20	2,18	1,33	0,54	0,30	0,15	0,15	0,24	0,79	1,2
	20 – 40	1,91	1,07	0,51	0,15	0,12	0,03	0,36	0,56	0,4
5. ОСВ – 30 т/га N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆ +	0 – 20	2,23	1,35	0,53	0,32	0,15	0,17	0,21	0,82	1,5
	20 – 40	1,94	1,11	0,53	0,16	0,13	0,03	0,37	0,58	0,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	2,29	1,48	0,64	0,36	0,17	0,19	0,28	0,84	1,3
	20-40	1,98	1,19	0,58	0,20	0,15	0,05	0,38	0,61	0,5
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0 – 20	2,16	1,39	0,61	0,31	0,15	0,16	0,30	0,78	1,0
	20 – 40	1,97	1,08	0,51	0,15	0,12	0,03	0,36	0,57	0,4
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0 – 20	2,21	1,47	0,64	0,33	0,15	0,18	0,31	0,83	1,1
	20 – 40	1,93	1,12	0,53	0,16	0,12	0,04	0,37	0,59	0,4

Загалом, показники фракційно-групового складу гумусу вказують на те, що без внесення добрив гумусовий стан дерново-підзолистого ґрунту, погіршується, ґрунт збіднюється. Мінеральні добрива N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ частково призупиняли процеси деградації, проте сприяли збільшенню частки фульвокислот у гумусі порівняно з варіантами, де повторно вносили ОСВ і компости під вербу енергетичну 2-го циклу використання.

В умовах дослідження використання ОСВ та компостів на його основі забезпечили якісне поліпшення фракційно-групового складу гумусу. За повторного внесення осаду стічних вод у дозуванні 80 т/га та компосту у складі: осад стічних вод + тирса (3:1) – 60 т/га у верхніх горизонтах дерново-підзолистого ґрунту вміст загального гумусу становив 1,76% для ОСВ та 1,72% - для компосту, що порівняно з контролем без внесення добрив було вищим на 0,4 та 0,8% відповідно.

Показники фракційно-групового складу гумусу при вирощуванні фітоенергетичних культур: сільфії пронизанолистої, міскантуса, світчграсу та топінамбура вказують на те, що без внесення добрив гумусовий стан дерново-підзолистого ґрунту погіршується.

Мінеральні добрива N₆₀₋₉₀P₆₀₋₉₀K₆₀₋₉₀ частково призупиняли процеси деградації, проте сприяли збільшенню частки фульвокислот у гумусі порівняно

з варіантами, де вносили сумісно ОСВ і мінеральні добрива, а також компости на їх основі.

Численні дослідження показують, що за вмістом основних агрохімічних елементів ОСВ не поступається традиційним органічним добривам, а в деяких випадках навіть кращий за них [23, 48].

В органічній речовині ґрунту акумульована значна частина азоту, який вважається одним з елементів мінерального живлення. Забезпечення сільськогосподарських культур достатньою кількістю азоту є умовою високого рівня врожаю.

Дослідження показників дерново-підзолистого ґрунту показав, що у верхньому шарі ґрунту повторне внесення добрив, в тому числі й ОСВ, значно впливали на вміст мінерального азоту (рис. 4.11).

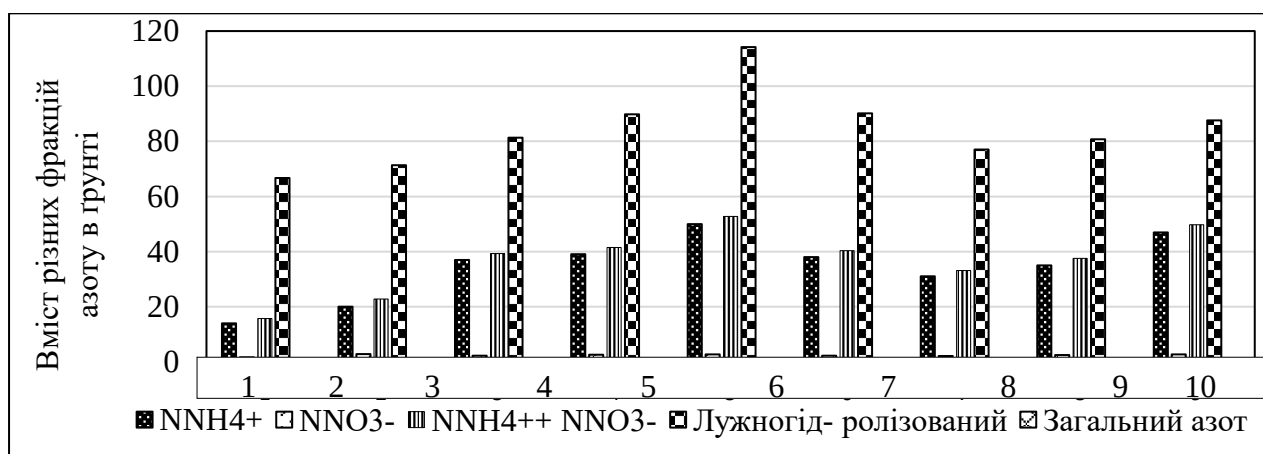


Рис. 4.11 Вміст різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту, після повторного внесення ОСВ та компостів під вербу енергетичну, (середній показник за 2016 – 2022 роки)

Внесення мінеральних добрив забезпечило достовірне, але незначне (на 5 мг/кг ґрунту), зростання вмісту амонійного азоту. Внесення ОСВ сприяло підвищенню цього показника до 29 – 47 мг/кг ґрунту. Найвищі показники вмісту амонійного азоту зафіксовані у варіантах, де вносили найбільшу дозу ОСВ.

Це вказує на його позитивний вплив щодо перебігу процесів амоніфікації та відновлення азоту до молекулярної форми N_2 . У варіантах з найбільшою

дозою ОСВ вміст нітратного азоту становив 2,3 – 2,5 мг/кг ґрунту, що свідчить про кращу забезпеченість азотом у верхньому шарі (0 – 20 см) дерново-підзолистого ґрунту.

Вміст лужногідролізованих форм азоту коливався у діапазоні 66,4 – 108,9 мг/кг ґрунту. Найвищі показники лужногідролізованих форм азоту були зафіксовані з разі внесення ОСВ у дозі 80 т/га, що свідчить про позитивний вплив на показники вмісту цієї фракції азоту в ґрунті.

За умови повторного внесення осаду стічних вод у дозі 80 т/га у ґрунті в шарі 0 – 20 см спостерігається найбільший вміст амонійного, мінерального та лужногідролізованого азоту, а в підорному шарі (20 – 40 см) – найвищий вміст нітратного азоту.

Найвищий вміст загального азоту зафіксований на глибині ґрунту 20 – 40 см у таких варіантах дослідів: внесення осаду стічних вод у концентрації 60 т/га, під час компостування ґрунту ОСВ і соломною у дозі 60 т/га і ОСВ, соломною і цементним пилом у дозі 40 т/га. У контрольному варіанті дослідів на глибині 0 – 20 см ґрунту відзначається найменший вміст усіх фракцій азоту у ґрунті, за винятком лужногідролізованих форм, мінімальна концентрація яких спостерігається у контролі в шарі 20 – 40 см. Порівнюючи варіанти, де повторно вносили компост на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 40 т/га, та варіант із такою ж кількістю компосту тільки з додаванням 10 % цементного пилу, вміст мінеральних форм азоту підвищився до 37,51 та 33,90 мг/кг ґрунту відповідно, а вміст загального азоту був на рівні 0,10 – 0,11%. Фонд азоту дерново-підзолистого ґрунту істотно змінювався від повторного внесення різних форм добрив під вербу енергетичну.

Отже, застосування ОСВ сприяло зростанню вмісту загального азоту на 0,03 – 0,06 % порівняно з контролем без внесення добрив.

Розглядаючи показники вмісту різних фракцій азоту у підорному (20 – 40 см) шарі, слід зазначити, що тенденції до зміни азотного фонду були подібними до верхнього (0 – 20 см) шару ґрунту. Проте нами були відмічені і деякі

відмінності. На контролі без внесення добрив в шарі 20 – 40 см вміст амонійного азоту визначено на 2 мг/кг ґрунту вищим, ніж у верхньому (0 – 20 см) шарі. Таку відмінність на 2 – 4 % спостерігали практично в усіх варіантах, де застосовували ОСВ і компости на його основі. У підорному шарі спостерігали певне зменшення вмісту нітратного азоту на 0,2 – 0,6 мг/кг ґрунту. Показник вмісту лужногідролізованих форм азоту коливався у діапазоні 26,8 – 87,56 мг/кг ґрунту. Мінеральна система внесення добрив забезпечила порівняно незначне (на 13,13 мг/кг ґрунту) зростання вмісту лужногідролізованих форм азоту в дерново-підзолистому ґрунті. У цьому шарі вміст мінеральних сполук азоту був вищим за аналогічний показник у шарі 0 – 20 см, і становив 17,63 [312, 314].

Вміст нітратних сполук азоту у шарі 20 – 40 см був нижчим, ніж у шарі 0 – 20 см, що свідчить про практично відсутність проявів непродуктивних втрат азоту через його міграцію профілем дерново-підзолистого ґрунту і закріплення у верхньому шарі. Повторне внесення ОСВ і компостів на його основі напровесні сприяли підвищенню вмісту лужногідролізованих форм азоту на 4,8 – 57,63 мг/кг ґрунту. Така ж подібна залежність спостерігалась і у динаміці показників вмісту загального азоту (рис. 4.12).

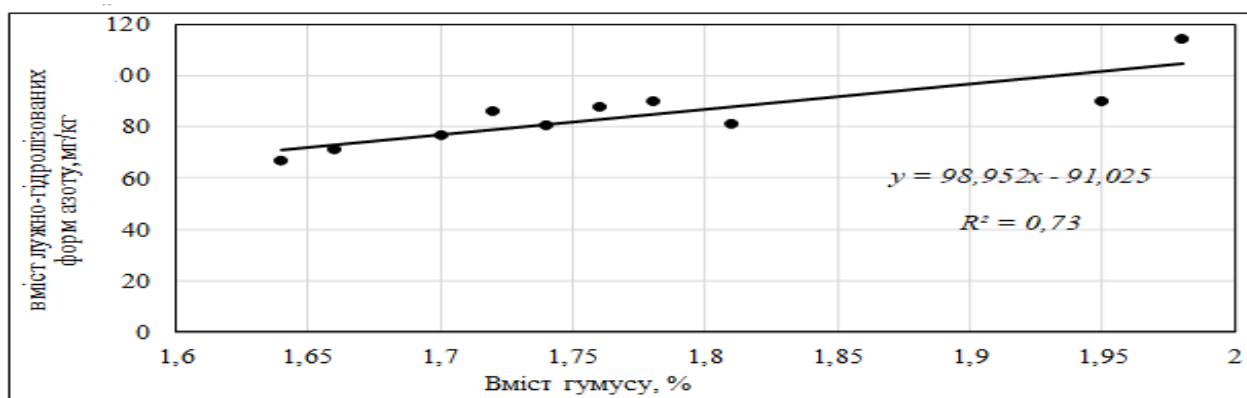


Рис. 4.12. Залежність показників лужногідролізованих форм азоту від вмісту гумусу в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної

У варіантах, де вносили ОСВ і компости на його основі, вміст загального азоту був вищим, ніж без внесення добрив 0,03 – 0,08 % і становив 0,07– 0,15 %.

Мінеральна система внесення добрив забезпечила зростання цього показника на 0,04%. Згідно отриманих результатів вміст лужногідролізованих форм азоту тісно корелював із результатами загального гумусу. Таку залежність можна описати наступним рівнянням лінійної регресії:

$$y = 43,397x + 8,7289,$$

де y - вміст лужногідролізованих форм азоту, мг/кг;

x - вміст гумусу, %

Множинний коефіцієнт детермінації R^2 становив 0,74, що вказує на тісний кореляційний зв'язок. Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту після повторного внесення осаду стічних вод та компостів під вербу енергетичну наведені у таблиці?. Найвищі коефіцієнти концентрацій амонійного і мінерального азоту спостерігаються на глибині ґрунту 0 – 20 см у варіанті внесення ОСВ у дозі 80 т/га, нітратного і лужногідролізованого азоту – на глибині ґрунту 20-40 см у цьому ж варіанті дослідів. Максимальні перевищення концентрації загального азоту у ґрунті відносно фонових значень зафіксовані на глибині ґрунту 20-40 см у наступних варіантах дослідів: за внесення ОСВ у кількості 60 т/га, при компостуванні ґрунту (ОСВ + солома (3:1)) у кількості 60 т/га, при компостуванні ґрунту (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) у кількості 40 т/га (рис. 4.13).

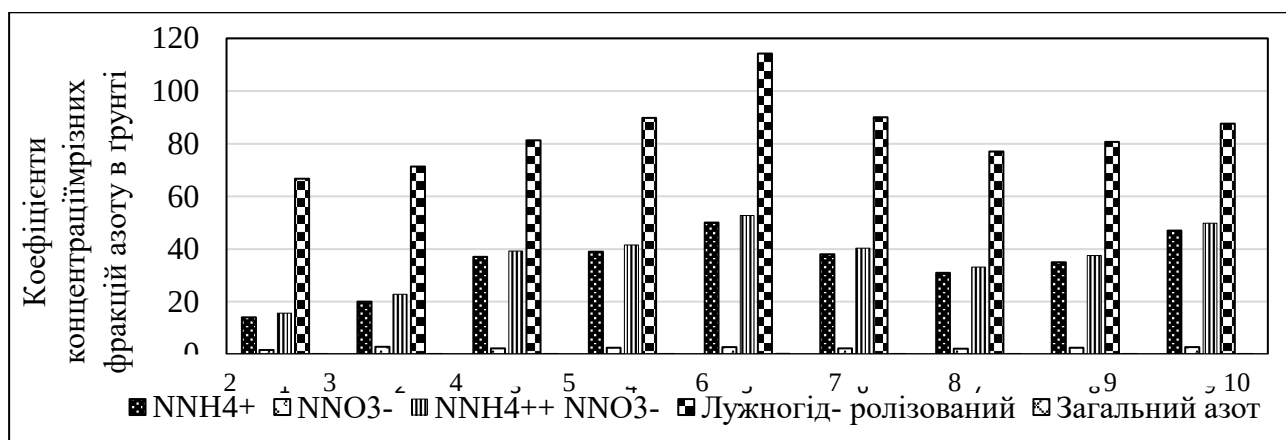


Рис. 4.13. Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в шарі ґрунту 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту, після повторного внесення ОСВ та компостів під вербу енергетичну, (середній показник за 2016 – 2022 роки)

Найнижчі значення коефіцієнтів концентрацій амонійного, мінерального, ліжногідролізованого азоту відзначено в шарі ґрунту 0 – 20 см у варіанті, де вносили мінеральні добрива $N_{100}P_{100}K_{100}$, нітратного азоту – в шарі 20 – 40 см у варіанті, де вносили компост (ОСВ + солома (3:1)) у дозі 20 т/га; загального азоту – в шарі 0 – 20 см після внесення 40 т/га ОСВ та компосту в дозі 20 і 40 т/га (ОСВ + солома (3:1)).

Вміст рухомих сполук калію в ґрунті після повторного внесення ОСВ зменшувався по профілю ґрунту; найвищі показники у орному шарі ґрунту 0 – 20 см і становили в межах 100,18 – 120,7 мг/кг ґрунту у варіантах, де вносили ОСВ у дозі 40 – 80 т/га. У випадку внесення компостів на основі ОСВ та органічної добавки вміст сполук калію залишався досить високим, але порівняно меншим із варіантами 3 – 5, проте більшим за контроль. Найменший вміст рухомих сполук калію відзначено в шарі 20 – 40 см у варіанті 10, де вносили 40 т/га компосту (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10%). Вміст рухомих сполук фосфору у разі вирощування верби енергетичної на дерново-підзолистих ґрунтах після повторного внесення ОСВ відображено на графіку (рис. 4.14).

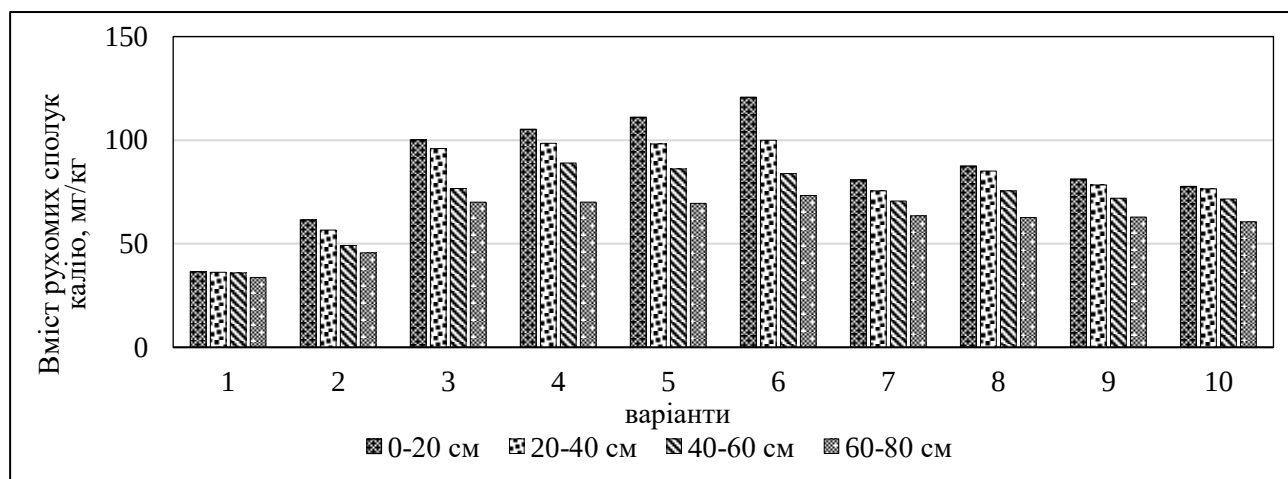


Рис. 4.14. Вміст рухомих сполук калію в ґрунті після повторного внесення ОСВ за вирощування верби енергетичної

Коефіцієнти концентрації рухомих сполук калію у разі вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ залежно від доз внесеного

добрива. Так, у разі внесення ОСВ у дозі 40 – 80 т/га (варіанти 3 – 5), вміст коефіцієнта концентрації рухомих сполук калію в орному шарі (0 – 20 см) становив 2,74 – 3,04, в підорному шарі (20 – 40 см); у цих же варіантах вміст коефіцієнта концентрації рухомих сполук калію становив 2,08 – 2,06, така невеличка різниця у результатах свідчить про те, що рухомі сполуки калію повільно рухаються вздовж профілю ґрунту.

Найвище середнє значення коефіцієнта концентрації рухомих сполук калію в шарі ґрунту 0 – 20 см встановлене у випадку внесення компосту на основі ОСВ та тирси в дозі 60 т/га (варіант 6) і становить 3,31, що на 1,62 менше за варіант 2, де вносили мінеральні добрива. Найменший середній показник коефіцієнта концентрації рухомих сполук калію спостерігали у варіанті внесення мінеральних добрив $N_{100}P_{100}K_{100}$ на глибині 60 – 80 см, де він становив 1,35.

Коефіцієнти концентрації рухомих сполук калію у разі вирощування верби енергетичної на дерново-підзолистих ґрунтах після повторного внесення осаду стічних вод відображені у вигляді графіка (табл. 4.15).

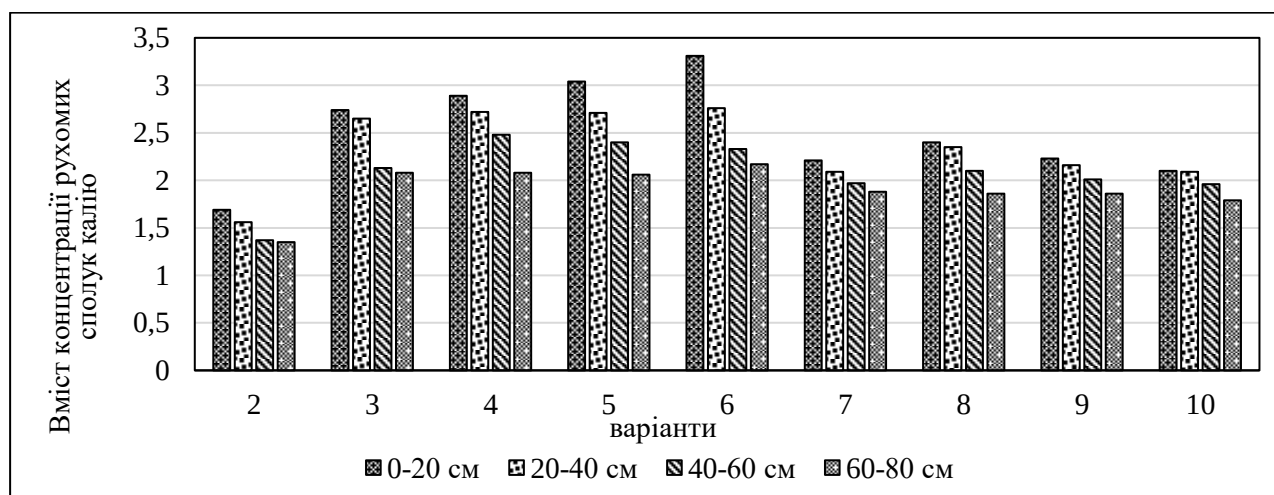


Рис. 4.15. Коефіцієнти концентрації рухомих сполук калію за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ

Вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті після повторного внесення ОСВ у разі вирощування верби енергетичної зменшувався вздовж профілю ґрунту. Найвищі показники бачимо у орному шарі ґрунту 0 – 20 см, які становили на

контролі (варіант 1), у який не вносили добрива – 79,5 мг/кг ґрунту. За внесення мінеральних добрив (варіант 2) вміст сполук фосфору становив 117,01 мг/кг ґрунту. Проте, у варіантах, де вносили ОСВ у дозі 40 – 80 т/га вміст рухомих сполук фосфору змінювався в межах 135,51 – 164,01 мг/кг ґрунту (варіанти 3 – 5). Після внесення компостів на основі ОСВ та органічної добавки вміст сполук фосфору залишався досить високим і становив 129,75 – 175,75 01 мг/кг ґрунту, але порівняно меншим із варіантами 3 – 5, проте більшим за контроль. Найменший вміст рухомих сполук фосфору відзначено в шарі 60 – 80 см у варіанті 1 та 8, де вносили 40 т/га компосту (ОСВ + солома (3:1)). Вміст рухомих сполук фосфору у випадку вирощування верби енергетичної на дерново-підзолистих ґрунтах після повторного внесення ОСВ залишається найбільшим у варіанті, де вносили максимальну дозу ОСВ (варіант 5) і становить 164,01 мг/кг ґрунту (рис. 4.16).

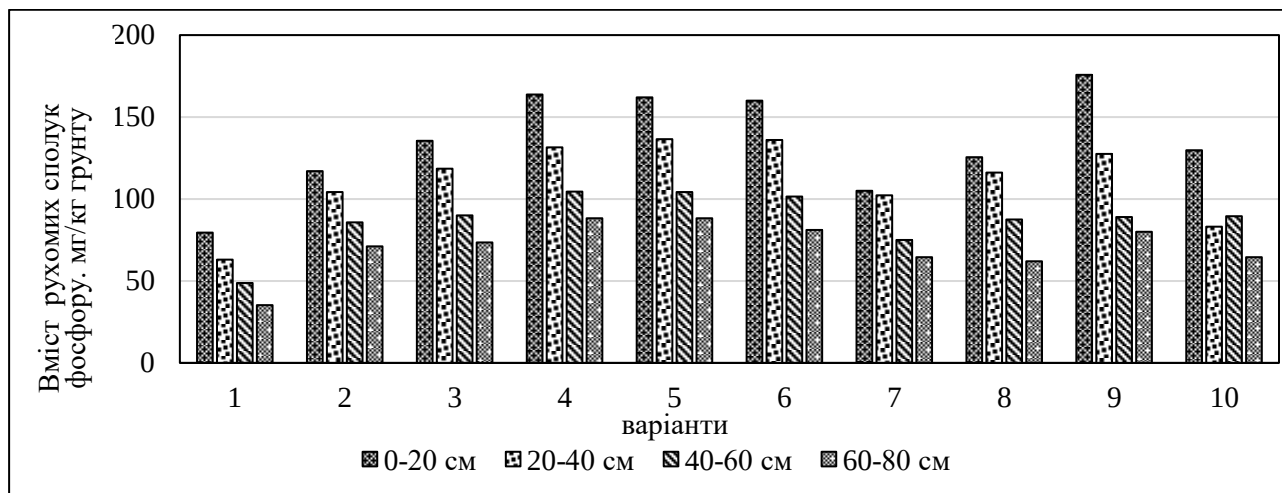


Рис. 4.16. Вплив повторного внесення осаду стічних вод на вміст рухомих сполук фосфору за вирощування верби енергетичної на дерново-підзолистих ґрунтах

Коефіцієнти концентрації рухомих сполук фосфору у випадку вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ змінювались відповідно до доз внесення добрив. За внесення ОСВ у дозі 40 – 80 т/га (варіанти 3 – 5) вміст коефіцієнта концентрації рухомих сполук фосфору в орному шарі (0

– 20 см) становив 1,07 – 2,06. В підорному шарі (20 – 40 см) у цих же варіантах вміст коефіцієнта концентрації рухомих сполук фосфору становив 1,08 – 2,17. Рухаючись вниз за профілем ґрунту підвищується концентрація рухомих сполук фосфору, і на глибині 60 – 80 см становить 2,09 – 2,51 для варіантів, де вносили ОСВ у нормі 40 – 80 т/га (варіанти 3 – 5). У випадку внесення компостів на основі ОСВ та органічної речовини (варіанти 6 – 9) концентрація рухомих сполук фосфору на глибині 60 – 80 см становить 2,09 – 2,27. Слід звернути увагу, що за внесення компосту на основі ОСВ і з мінеральним наповнювачем, а саме цементний пил у обсязі 10% концентрація рухомих сполук фосфору становила 1,83 (рис. 4.17)

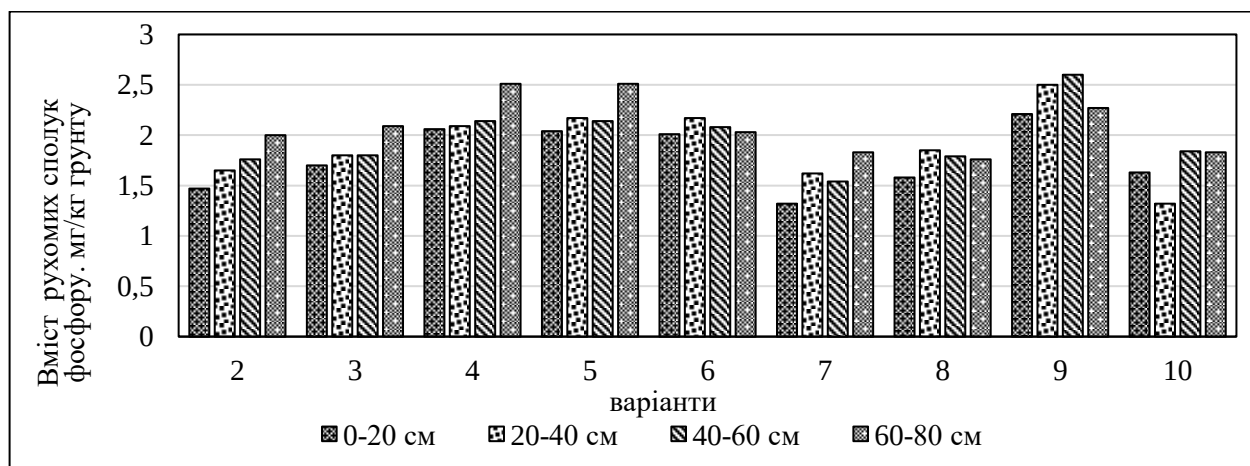


Рис. 4.17. Коефіцієнти концентрації рухомих сполук фосфору за вирощування верби енергетичної на дерново-підзолистих ґрунтах після повторного внесення ОСВ

Внесення ОСВ на ділянках вирощування сільфії пронизанолистої на дерново-підзолистих ґрунтах сприяє підвищенню основних агрохімічних показників, які змінюється відповідно до варіантів дослідження. Вміст різних фракцій азоту підвищувались після внесенням свіжого ОСВ та мінеральних добрив (варіанти 4 – 6) порівняно з контролем та зменшувались після внесення компостів на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8). Вміст загального азоту змінювався в межах 0,07 – 0,11%. Максимальні його показники

бачимо у варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈) в орному шарі ґрунту 0 – 20 см, що на 0,04% перевищує контроль (варіант 1). Показники лужногідролізованого азоту змінюються відповідно до варіантів дослідження, зокрема після внесення ОСВ у дозі 40 т/га (варіант 6) у орному шарі ґрунту (0 – 20 см), де він становить 72,21 мг/кг ґрунту.

Після внесення компостів на основі ОСВ та соломи (3:1) з мінеральними добривами у певних пропорціях у дозах 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) показники лужногідролізованого азоту змінюються від 69,81 – 71,12 мг/кг ґрунту в орному шарі (0 – 20 см) та від 29,01 – 30,54 мг/кг ґрунту в підорному шарі (20 – 40 см) відповідно (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

**Вміст різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту
після внесення ОСВ та компостів за вирощування сільфії
пронизанолистої, 2016 – 2022 р.**

Варіант	Шар ґрунту, см	Вміст різних фракцій азоту в ґрунті				
		Амонійний	Нітратний	Мінеральний	Лужногідролізований	Загальний азот, %
N_{NH4}^{+}	N_{NO3}^{-}	$N_{NH4}^{+} + N_{NO3}^{-}$				
мг/кг ґрунту						
1	2	3	4	5	6	7
1. Без внесення добрив (контроль)	0 – 20	15	1,40	17,68	67,00	0,07
	20 – 40	16	1,22	16,60	26,78	0,08
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$	0 – 20	17	1,76	18,76	68,91	0,08
	20 – 40	17	1,46	18,46	28,94	0,10
3. $N_{90}P_{90}K_{90}$	0 – 20	18	1,84	20,84	70,13	0,09
	20 – 40	17	2,10	19,10	29,36	0,10
4. ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	0 – 20	18	1,56	19,56	69,12	0,09
	20 – 40	16	1,95	18,95	29,12	0,10
5. ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	0 – 20	19	2,36	21,36	70,96	0,10
	20 – 40	18	2,13	20,13	30,69	0,11

1	2	3	4	5	6	7
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0 – 20	20	2,87	22,87	72,21	0,11
	20 – 40	19	2,57	21,57	32,08	0,11
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0 – 20	18	1,64	19,64	69,81	0,09
	20 – 40	18	1,37	19,37	29,01	0,10
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 – 20	19	2,92	21,92	71,12	0,10
	20 – 40	18	2,07	20,07	30,54	0,10

У випадку вирощування сільфії пронизанолистої найбільший вміст усіх фракцій азоту у верхньому орному шарі ґрунту (0 – 20 см) спостерігали у варіанті з внесенням ОСВ в дозі 40 т/га і мінерального добрива N₁₀P₁₄K₅₈, а загального азоту – у цьому ж варіанті в шарі 20 – 40 см, а також в шарі ґрунту глибиною 20 – 40 см після внесення ОСВ у дозі 30 т/га і мінерального добрива N₃₀P₃₃K₆₆. У контролі в шарі ґрунту 0 – 20 см відзначали найнижчі умісти амонійного, нітратного, загального азоту, а в шарі 20 – 40 см – мінерального і лужногідролізованого азоту. Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту, після внесення ОСВ та компостів під сільфію пронизанолисту наведені у рис. 4.18.

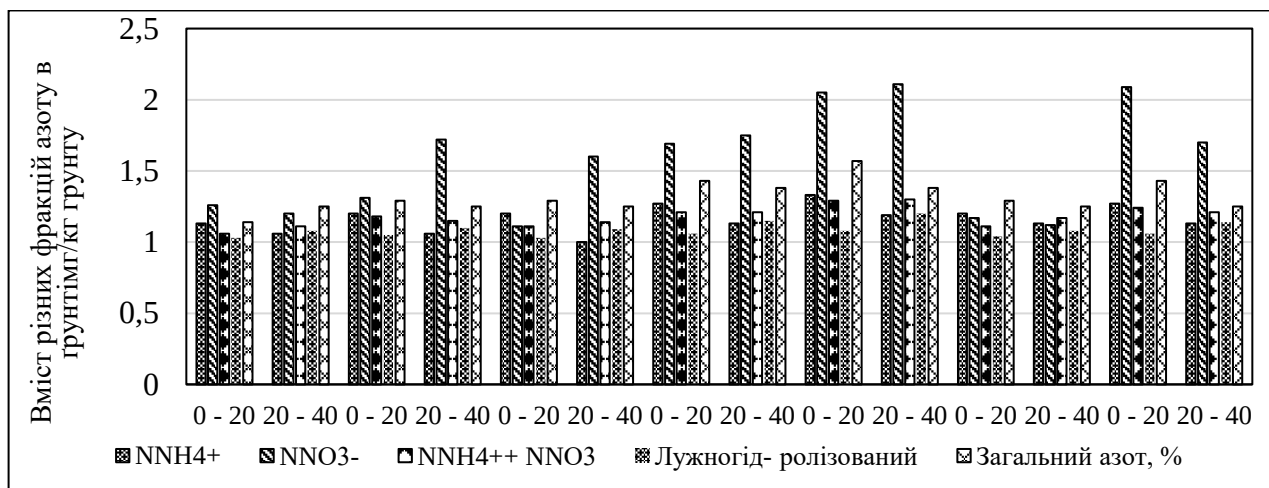


Рис. 4.18. Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см за вирощування сільфії пронизанолистої, середні значення за 2016 – 2022 роки

Найвищі коефіцієнти концентрацій амонійного та загального азоту відзначено в шарі ґрунту 0 – 20 см після внесення ОСВ в дозі 40 т/га і

мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, мінерального і лужногідролізованого азоту – в шарі 20 – 40 см у варіанті внесення ОСВ в дозі 40 т/га і мінерального добрива в дозі $N_{10}P_{14}K_{58}$, нітратного – в шарі 0 – 20 см у варіанті внесення компосту в дозі 30 т/га (ОСВ + солома (3:1)) і мінерального добрива $N_{30}K_{55}$.

Найменші значення коефіцієнтів концентрацій мінерального, загального і лужногідролізованого азоту відзначено в шарі ґрунту 0 – 20 см у варіанті внесення добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$, амонійного – в шарі 20 – 40 см після внесення ОСВ у дозі 20 т/га і мінеральних добрив $N_{50}P_{52}K_{74}$ (рис.4.19).

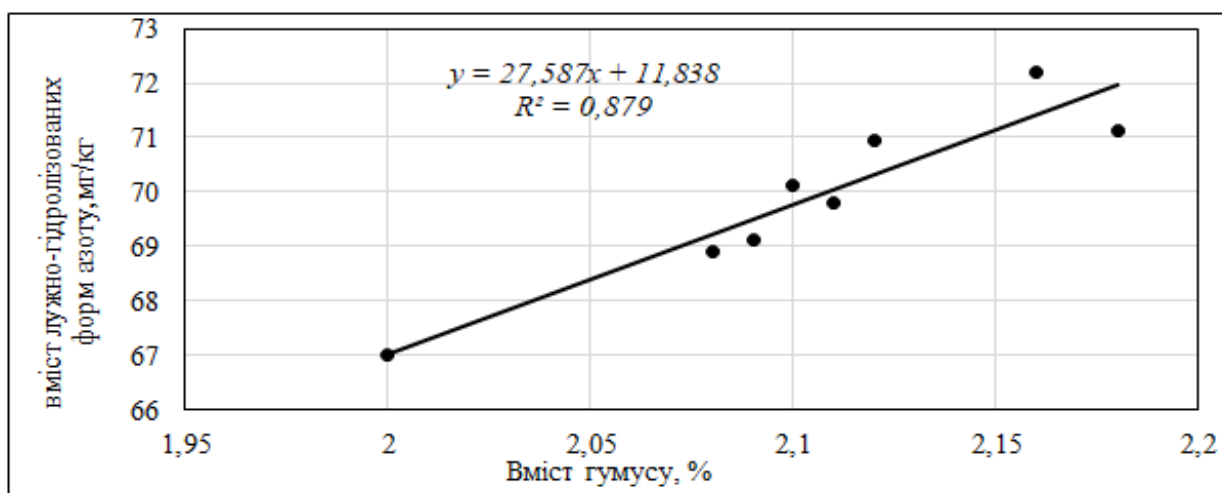


Рис. 4.19. Залежність показників лужногідролізованих форм азоту від вмісту гумусу в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої

Таку залежність можна описати наступним рівнянням лінійної регресії:

$$y = 27,587x + 11,878,$$

де y – вміст лужногідролізованих форм азоту, мг/кг

x – вміст гумусу, %

Множинний коефіцієнт детермінації (R^2) становив 0,88, що вказує на високу тісноту зв'язку.

Тенденцію до зниження вмісту рухомих сполук фосфору з глибиною ґрунту та з плином часу спостерігали після внесення добрив під сільфію пронизанолисту. Стабільний вміст сполук фосфору (50 мг/кг ґрунту) в шарі

грунту глибиною 60 – 80 см ґрунту спостерігали у 2018 та 2019 роках у контрольному варіанті досліді, а також у 2020 та 2022 роках (60 мг/кг ґрунту) у варіанті внесення компосту ОСВ та соломи в дозі 20 т/га та внесенні мінерального добрива $N_{50}P_{16}K_{67}$.

Найменший вміст фосфатів відзначено у контрольному варіанті на глибині ґрунту 60 – 80 см, який становить 50,75 мг/кг ґрунту, а максимальне значення вмісту сполук фосфору (191,75 мг/кг ґрунту) спостерігали після внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$. За внесення ОСВ та мінеральних добрив (варіанти 4 – 6) вміст рухомих сполук фосфору в орному шарі ґрунту (0 – 20 см) змінювався в межах 164,75 – 191,75 мг/кг ґрунту, що на 2,74 – 29,74 мг/кг ґрунту, перевищує такий у контрольному варіанті.

За внесення компостів на основі ОСВ та соломи (3:1) з мінеральними добривами у певних пропорціях у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) показники рухомих сполук фосфору змінюються від 180,75 до 180,01 мг/кг ґрунту в орному шарі (0 – 20 см) та від 130,01 до 128,12 мг/кг ґрунту в підорному шарі (20 – 40 см) відповідно (рис. 4.20).

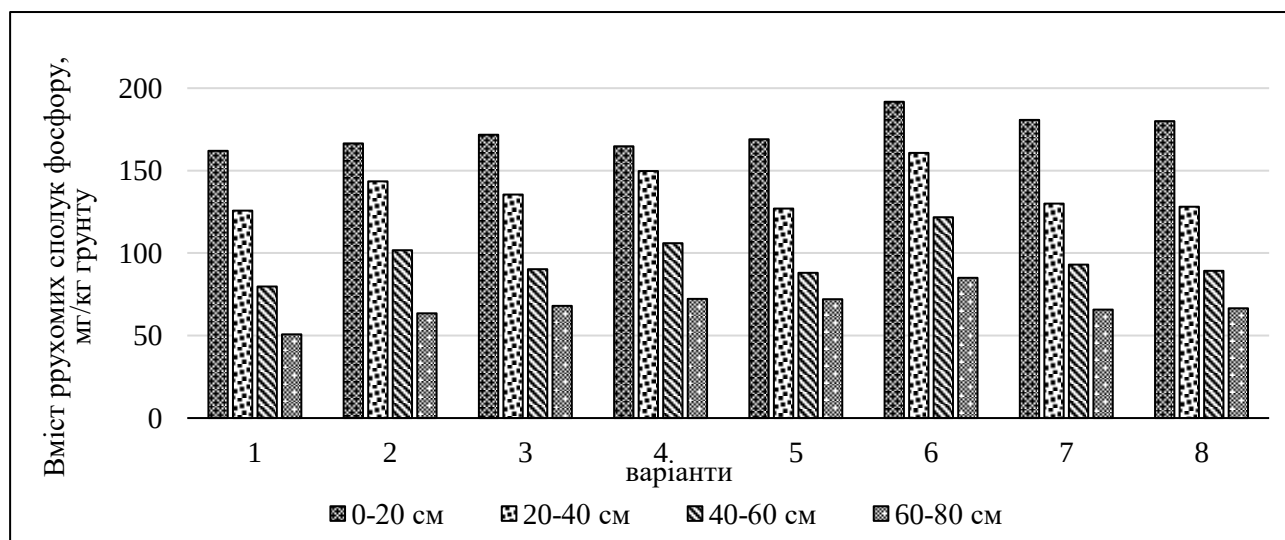


Рис. 4.20. Вплив осаду стічних вод на вміст рухомих сполук фосфору за вирощування сільфії пронизонолистий на дерново-підзолистих ґрунтах

Коефіцієнти концентрації рухомих сполук фосфору у разі вирощування сільфії пронизанолистої, змінювались відповідно до доз внесення добрив. Після внесення мінеральних добрив $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3) коефіцієнт концентрації рухомих сполук фосфору в орному шарі (0 – 20 см) становив 1,03 – 1,06 відповідні, в шарі 20 – 40 см становив 1,04 – 1,07 відповідно. Після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст коефіцієнта концентрації рухомих сполук фосфору в орному шарі (0 – 20 см) становив 1,03 – 1,18.

В підорному шарі (20 – 40 см) у цих же варіантах вміст коефіцієнта концентрації рухомих сполук фосфору становив 1,19 – 1,27. Рухаючись вниз профілем ґрунту концентрація рухомих сполук фосфору підвищується і на глибині 60 – 80 см становить 1,42 – 1,67 для варіантів, де вносили ОСВ у нормі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6). Після внесення компостів на основі ОСВ та органічної речовини (варіанти 7 – 8) концентрація рухомих сполук фосфору на глибині 60 – 80 см становить 1,30 – 1,34 (рис. 4.21).

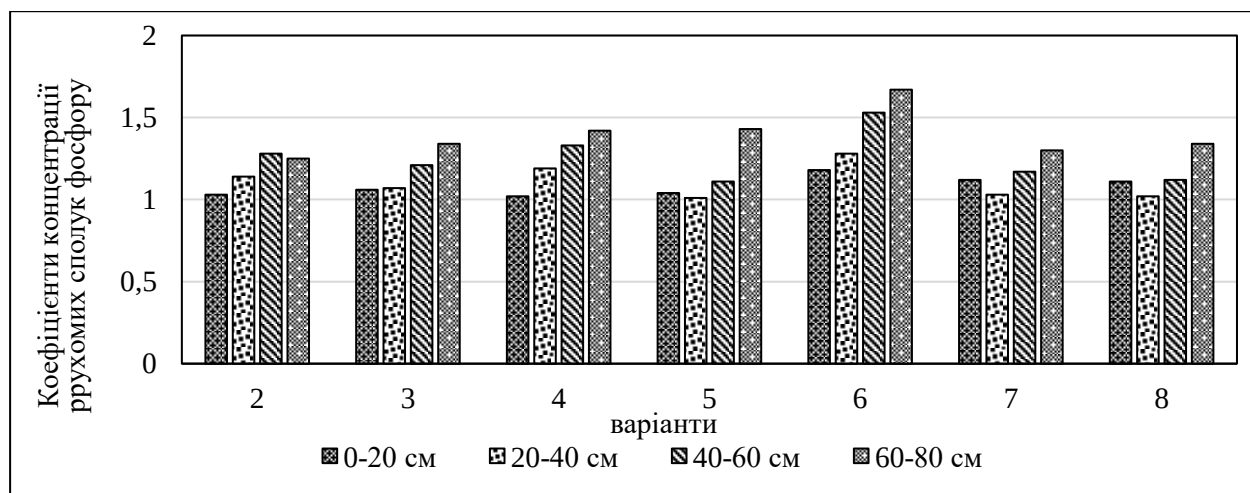


Рис. 4.21. Коефіцієнти концентрації рухомих сполук фосфору у разі вирощування сільфії на дерново-підзолистих ґрунтах за внесення ОСВ

Після внесення ОСВ під сільфію пронизанолисту спостерігали зниження вмісту обмінних сполук калію з глибиною шару ґрунту, за винятком контрольного варіанту у 2017 – 2022 роках, де має місце стабільність показника

вмісту сполук калію у ґрунті на рівні 36 мг/кг ґрунту, а також після внесення тільки мінеральних добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$ та $N_{90}P_{90}K_{90}$.

Найменший вміст рухомих сполук калію відзначено у контролі на глибині ґрунту 60 – 80 см, що становить 36,05 мг/кг ґрунту, а максимальне значення вмісту сполук калію (103,78 мг/кг ґрунту) спостерігали після внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6). Після внесення ОСВ та мінеральних добрив (варіанти 4 – 6) вміст рухомих сполук калію в орному шарі ґрунту (0 – 20 см) змінювався в межах 88,9 – 103,78 мг/кг ґрунту, що на 48,76 – 63,63 мг/кг ґрунту перевищує такий показник у контрольному варіанті.

Після внесення компостів на основі ОСВ та соломи (3:1) з мінеральними добривами у певних пропорціях у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) показники рухомих сполук калію змінюються від 97,02 до 99,04 мг/кг ґрунту в орному шарі (0 – 20 см) та від 88,62 до 93,90 мг/кг ґрунту в підорному шарі (20 – 40 см) відповідно (рис. 4.22).

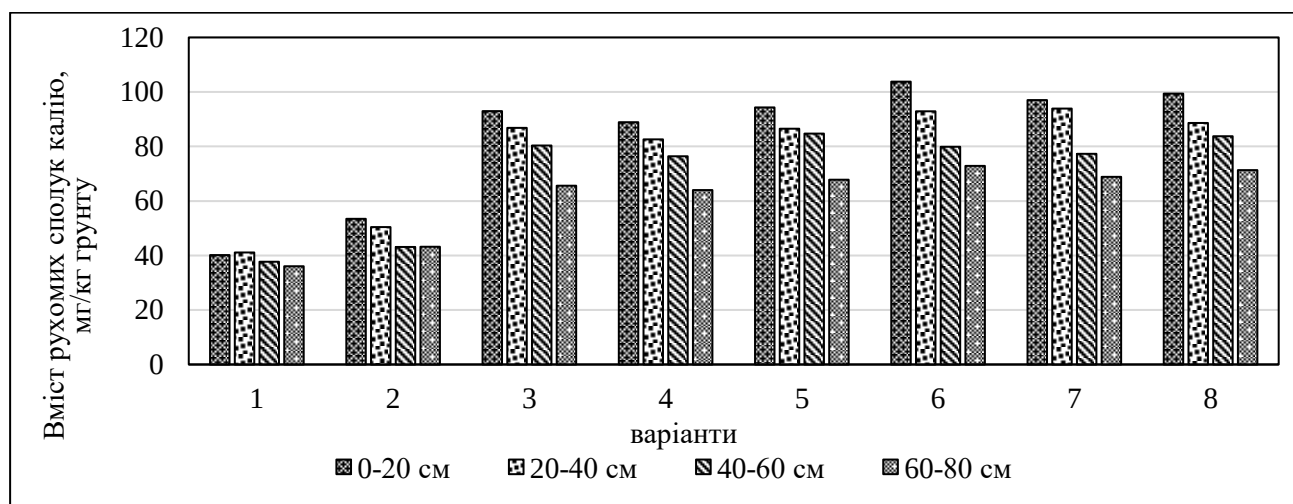


Рис. 4.22. Вплив осаду стічних вод на вміст рухомих сполук калію за вирощування сільфії пронизонолистості

Коефіцієнти концентрації рухомих сполук калію на ділянках вирощування сільфії пронизанолистості, змінювались відповідно до доз внесення ОСВ та компостів на їх основі. Після внесення мінеральних добрив $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$

(варіанти 2 і 3) коефіцієнт концентрації рухомих сполук калію в орному шарі (0 – 20 см) становив 1,33 та 2,32 відповідно, в шарі 20 – 40 см становив 1,23 та 2,11 відповідно. За внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст коефіцієнта концентрації рухомих сполук калію в орному шарі (0 – 20 см) становив 2,21 – 2,58 [48, 313].

В підорному шарі (20 – 40 см) у цих же варіантах вміст коефіцієнта концентрації рухомих сполук калію становив 2,01 – 2,26.

У напрямках за профілем ґрунту зменшується концентрація рухомих сполук калію, і на глибині 60 – 80 см становить 1,78 – 2,02 для варіантів, де вносили ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6). Після внесення компостів на основі ОСВ та органічної речовини (варіанти 7 – 8) концентрація рухомих сполук калію на глибині 60 – 80 см становить 1,98 – 2,12.

Коефіцієнти концентрації рухомих сполук калію для випадку вирощування сільфії пронизанолистої на дерново-підзолистих ґрунтах після повторного внесення осаду стічних вод наведені на рис. 4.23.

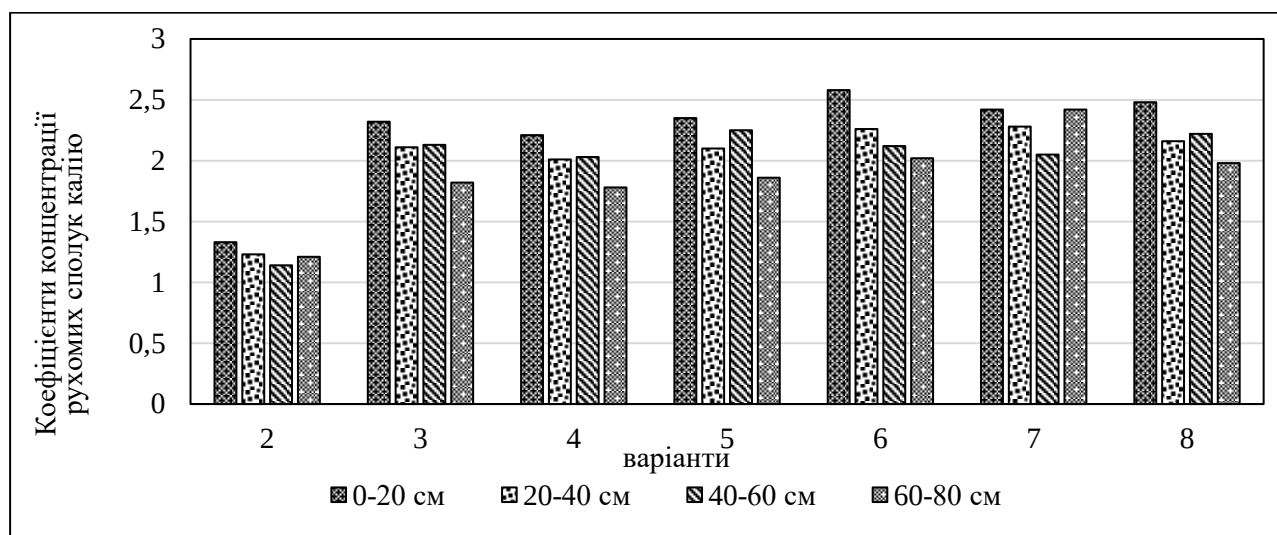


Рис. 4.23. Коефіцієнти концентрації рухомих сполук калію за вирощування сільфії пронизанолистої

У випадку сільфії пронизанолистої, міскантуса і топінамбура відзначено найвищі середні показники коефіцієнтів концентрації рухомих сполук фосфору в

шарі ґрунту 60 – 80 см після внесення ОСВ дозі 40 т/га і мінеральних добрив $N_{10}P_{14}K_{58}$.

На ділянках вирощування топінамбура у контрольному варіанті досліді в шарі ґрунту 0 – 20 см спостерігали найвищий вміст амонійного, мінерального і загального азоту, а в шарі 20 – 40 см – нітратної і лужногідролізованої форм азоту. Найвищі концентрації амонійного і лужногідролізованого азоту відзначали в шарі ґрунту 0 – 20 см після внесення у нього ОСВ у дозі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, а найвищий вміст нітратного і мінерального азоту – в шарі ґрунту 20 – 40 см у цьому ж варіанті досліді [118].

Максимальні показники вмісту загального азоту спостерігали у підорному шарі ґрунту 20 – 40 см у таких варіантах досліді: за внесення ОСВ у дозі 20 т/га і мінерального добрива $N_{50}P_{52}K_{74}$, за внесення ОСВ в дозі 30 т/га і мінерального добрива $N_{30}P_{33}K_{66}$, після внесення компосту ОСВ і соломи у дозі 20 т/га і мінерального добрива $N_{50}P_{16}K_{67}$, після внесення компосту ОСВ і соломи в дозі 30 т/га і мінерального добрива $N_{30}K_{55}$ (табл. 4.13)

Таблиця 4.13

Вміст різних фракцій азоту в шарі дерново-підзолистого ґрунту глибиною 0 – 40 см за внесення ОСВ та компостів під топінамбур, (2016 – 2022 р.)

Варіант	Шар ґрунту, см	Вміст різних фракцій азоту в ґрунті				
		Амоній-ний	Нітрат-ий	Мінеральний	Лужно-гідролізований	Загальний азот, %
		$N_{NH_4^+}$	$N_{NO_3^-}$	$N_{NH_4^+} + N_{NO_3^-}$		
		мг/кг ґрунту				
1	2	3	4	5	6	7
1. Без внесення добрив (контроль)	0 – 20	16	1,74	17,74	44,25	0,07
	20 – 40	16	1,65	17,65	27,82	0,08
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$	0 – 20	17	2,65	19,65	49,01	0,10
	20 – 40	17	1,91	18,91	29,15	0,12
3. $N_{90}P_{90}K_{90}$	0 – 20	19	2,96	21,96	50,18	0,11
	20 – 40	18	2,48	20,48	32,10	0,12
4. ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	0 – 20	20	2,76	22,76	52,89	0,10
	20 – 40	19	2,28	21,28	31,23	0,13

1	2	3	4	5	6	7
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	20	2,42	22,42	53,87	0,11
	20 – 40	20	2,86	22,86	32,23	0,13
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0 – 20	22	2,58	24,58	55,92	0,12
	20 – 40	21	3,98	24,98	32,81	0,12
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0 – 20	20	2,09	22,09	54,34	0,12
	20 – 40	19	1,85	20,85	30,74	0,13
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 – 20	20	2,19	22,19	54,56	0,12
	20 – 40	19	2,74	21,74	31,98	0,13

Застосування мінеральних добрив у дозі N₆₀P₆₀K₆₀ сприяло збільшенню вмісту азоту лужногідролізованих сполук на 5 мг/кг ґрунту у верхньому (0 – 20 см) та на 2 мг/кг у нижньому (20 – 40 см) шарах ґрунту, що становило 44, 25 та 27,82 мг/кг ґрунту. Збільшення дози азоту, внесеного з мінеральними добривами, сприяло підвищенню вмісту азоту лужногідролізованих сполук у ґрунті.

Застосування ОСВ у дозі 20 – 40 т/га з відповідною балансовою дозою мінеральних добрив сприяло збільшенню вмісту лужногідролізованих сполук азоту на 8,64 – 11,67 мг/кг ґрунту у верхньому (0 – 20 см) шарі ґрунту та на 3,41 – 4,99 мг/кг ґрунту у нижньому (20 – 40 см) шарі. Дещо менші темпи збільшення вмісту лужногідролізованих сполук азоту забезпечувало внесення компостів на основі ОСВ та соломи. У верхньому шарі ґрунту (0 – 20 см) вміст лужногідролізованих сполук азоту становив 54,34 – 54,56 та 30,74 – 31,98 мг/кг ґрунту у нижньому (20 – 40 см) шарі, що значно перевищувало показники контрольного варіанту.

Одночасно зі зміною вмісту азоту нітратних сполук це сприяло формуванню в ґрунті вмісту мінеральних сполук азоту в межах 17,74 – 24,58 мг/кг ґрунту в шарі 0 – 20 см та 17,65 – 24,9 мг/кг ґрунту - в шарі 20 – 40 см. Найвищі показники вмісту сполук мінерального азоту зафіксовано у варіанті 6, де внесено дозу ОСВ – 40 т/га та відповідну кількість мінеральних добрив

$N_{10}P_{14}K_{58}$. Застосування компостів ОСВ (варіанти 7 та 8 забезпечили вміст мінеральних сполук азоту в межах 22,09 – 22,19 мг/кг ґрунту.

Слід зазначити, що незважаючи на широкий діапазон значень вмісту азоту лужних гідролізованих і мінеральних сполук, їх співвідношення становило 2,3 – 2,6 у верхньому шарі та 1,2 – 1,4 у нижньому (20 – 40 см) і зменшувалося зі збільшенням дози добрива. Відносно стабільним показником характеристики ґрунту можна вважати відношення вмісту лужногідролізованих сполук азоту до вмісту азоту мінеральних сполук, який несуттєво змінюється залежно від дозування добрив на основі ОСВ та компостів на їх основі (рис. 4.24).

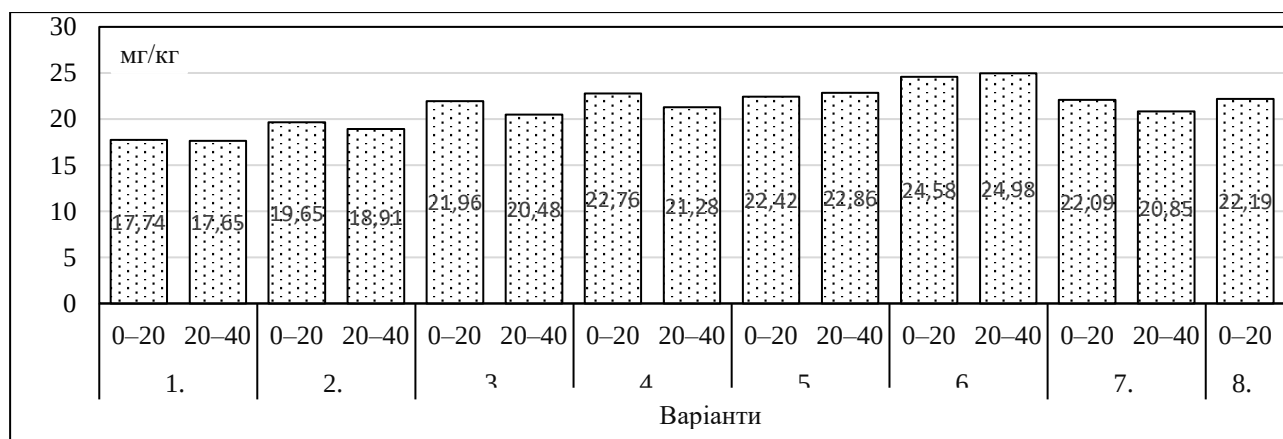


Рис. 4.24. Вміст мінеральних сполук азоту в ґрунті за вирощування топінамбура

Опишемо коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в шарі глибиною 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту після внесення ОСВ та компостів під топінамбур. Найвищі коефіцієнти концентрацій амонійного, лужногідролізованого і загального азоту спостерігали в шарі ґрунту 0 – 20 см у варіанті внесення дози ОСВ 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) нітратного, мінерального та лужногідролізованого азоту – в шарі 20 – 40 см у цьому ж варіанті дослідів. Вміст лужногідролізованого азоту у варіантах із внесенням мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га (варіанти 2 – 3) становить 1,02 – 1,03 в орному шарі ґрунту (0 – 20 см), та 1,04 – 1,06 в підорному.

Після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га та мінеральних добрив (варіанти 4 – 6) вміст лужно-гідролізованого азоту в орному шарі ґрунту 0 – 20 см становить 1,06

– 1,14, проте в підорному шарі ґрунту (20 – 40) його вміст становить 1,04 – 1,14. Після внесення компостів на основі ОСВ (варіанти 7 – 8) коефіцієнт концентрації лужногідролізованого азоту рівний 1,70 – 1,71 в орному (0 – 20 см) шарі ґрунту, а в підорному шарі ґрунту - рівний 1,60 – 1,63. Коефіцієнт концентрації загального азоту у варіантах 2 і 3 в орному шарі ґрунту (0 – 20 см) рівний 1,43 – 1,57, а в підорному шарі ґрунту (20 – 40 см) - 1,50 для обох варіантів (табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту, після внесення осаду стічних вод та компостів під топінамбур, (2016 – 2022 роки) [314].

Варіант	Шар ґрунту, см	Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в ґрунті				
		Амонійний	Нітратний	Мінеральний	Лужногідролізований	Загальний азот, %
		$N_{NH_4^+}$	$N_{NO_3^-}$	$N_{NH_4^+} + N_{NO_3^-}$		
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$	0 – 20	1,07	1,49	1,11	1,02	1,43
	20 – 40	1,13	1,15	1,13	1,04	1,50
3. $N_{90}P_{90}K_{90}$	0 – 20	1,20	1,64	1,24	1,03	1,57
	20 – 40	1,13	1,44	1,15	1,06	1,50
4. ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	0 – 20	1,27	1,51	1,29	1,06	1,43
	20 – 40	1,19	1,33	1,14	1,04	1,63
5. ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	0 – 20	1,33	1,36	1,34	1,08	1,57
	20 – 40	1,19	1,70	1,23	1,08	1,63
6. ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	0 – 20	1,40	1,43	1,40	1,14	1,71
	20 – 40	1,19	1,85	1,42	1,14	1,50
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	0 – 20	1,27	1,15	1,25	1,08	1,70
	20 – 40	1,19	1,01	1,14	1,08	1,60
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	0 – 20	1,27	1,21	1,32	1,09	1,71
	20 – 40	1,19	1,60	1,23	1,12	1,63

У випадку внесення ОСВ і мінеральних добрив (варіанти 4 – 6) концентрація загального азоту становила 1,43 – 1,71 в орному шарі ґрунту.

Таку залежність можна описати наступним рівнянням лінійної регресії:

$$y = 11,266x + 44,814,$$

де y - вміст лужногідролізованих форм азоту, мг/кг

x - вміст гумусу, %

Множинний коефіцієнт детермінації R^2 становив 0,92, що вказує на високу тісноту зв'язку. Застосування ОСВ та компостів на його основі призвело до значного підвищення вмісту рухомих сполук фосфору та метаболічних сполук калію в дерново-підзолистому ґрунті (рис. 4.25).

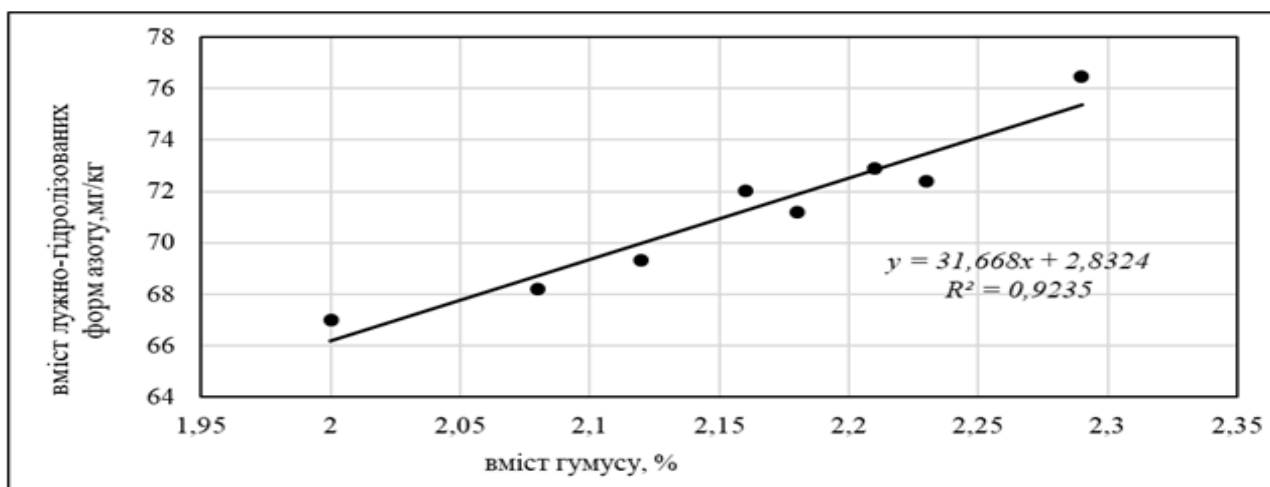


Рис.4.25. Залежність показників лужногідролізованих форм азоту від вмісту гумусу в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування топінамбура

Це збільшення спостерігали в усіх варіантах дослід у ґрунтовому профілі до глибини 60 см. Глибше 60 см різниця у варіантах дослід була менш вираженою, а для фосфору – майже непомітною (в межах похибки).

Найвищі показники вмісту фосфору та калію зафіксовано у варіантах із внесенням свіжого ОСВ: вони становили відповідно 90,1 та 96,8 мг/кг ґрунту, рухомих сполук фосфору та метаболічного калію у верхньому (0 – 20 см) шарі ґрунту (варіант з найбільшою нормою внесення ОСВ – варіант 6).

У підґрунтовому шарі (20 – 40 см) для дослідних варіантів відмінність також була достовірною порівняно з контрольним варіантом, але вміст рухомих сполук фосфору змінювався менше, ніж показники калію. У варіантах з дозою $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ коефіцієнт концентрації сполук фосфору становив 1,01 – 1,17 в

орному шарі ґрунту (0 – 20 см), а за профілем ґрунту до глибини 60 см зростав у діапазоні 1,02 – 1,15 (20 – 40 см) (рис. 4.26).

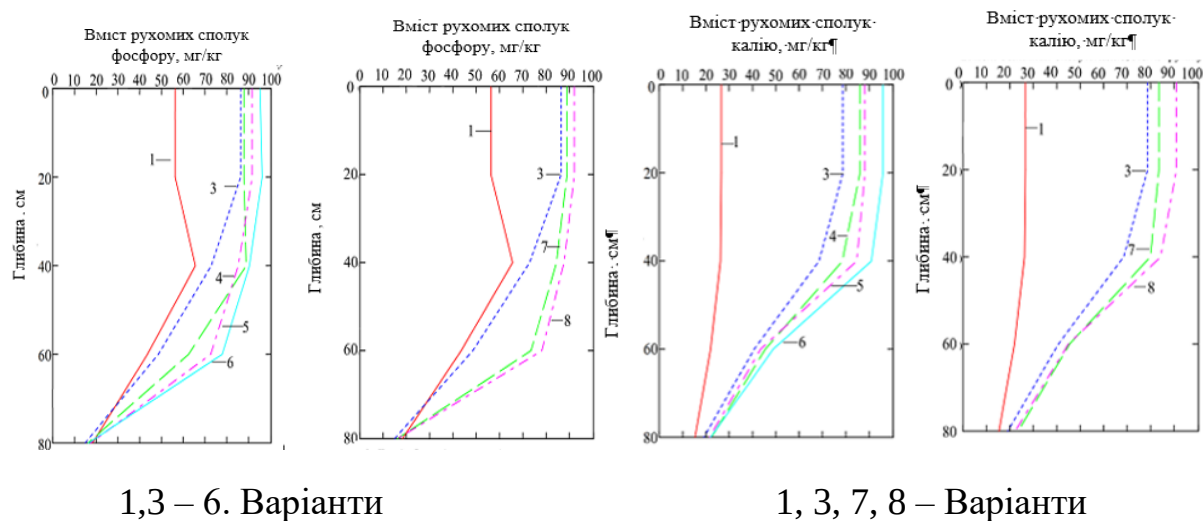


Рис. 4.26. Вплив ОСВ на вміст рухомих сполук фосфору та калію в дерново-підзолистому ґрунті (показники за період 2016 – 2022 рр.)

Найвищі показники коефіцієнтів концентрації сполук фосфору та калію зафіксовано у варіантах із внесенням свіжих ОСВ, а саме варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈) і становили відповідно 1,26 та 2,34 мг/кг ґрунту, у верхньому 0 – 20 см) шарі ґрунту.

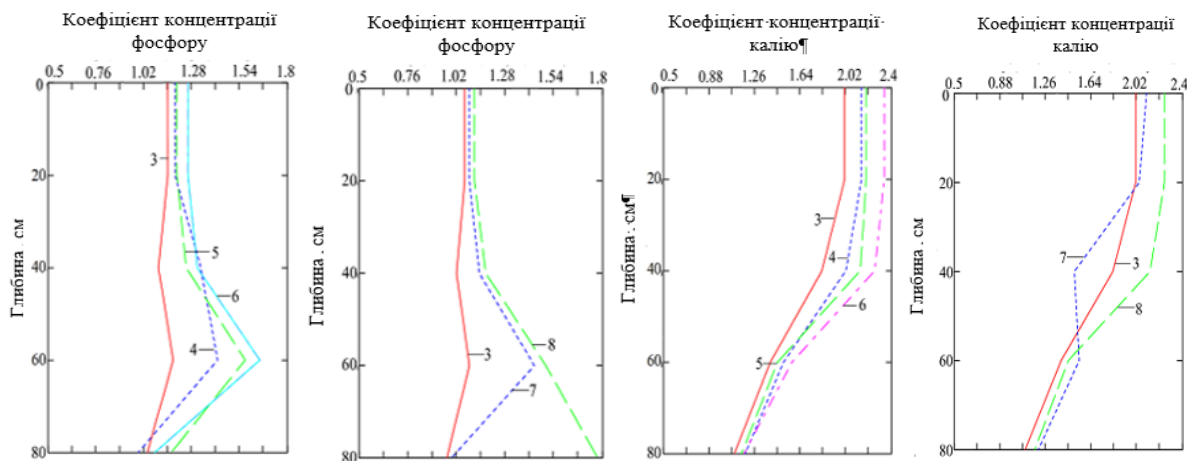
У підорному шарі (20 – 40 см) ґрунту коефіцієнт концентрації сполук фосфору та калію становив 1,31 та 2,26 відповідно. Застосування компостів на основі ОСВ (варіанти 7 і 8) забезпечило значення коефіцієнтів концентрації сполук фосфору та калію в межах 1,18 – 1,21 та 2,10 – 2,25 відповідно. Найнижчі значення коефіцієнтів концентрації сполук фосфору та калію спостерігали у ґрунтовому профілі на глибині 60 – 80 см, що зумовлено зменшенням вмісту сполук фосфору та калію. За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що коефіцієнт концентрації фосфору найбільше залежить від вмісту рухомих сполук у ґрунті з коефіцієнтами детермінації $R^2 = 0,69$ та кореляції $r = 0,72$.

Рівняння множинної регресії може виглядати так:

$$y = 62,7482 + 20,2833x,$$

де x – вміст рухомих сполук фосфору в ґрунті, мг/кг ґрунту;

y – коефіцієнт концентрації фосфору (рис. 4.27).



3. – 6. Варіанти

3, 7, 8 – Варіанти

Рис. 4.27. Зміна коефіцієнта концентрації фосфору та калію в ґрунті залежно від схеми внесення добрив, середні показники за 2016 – 2022 рр.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу встановлено, що коефіцієнт концентрації калію найбільше залежить від вмісту його обмінних сполук у ґрунті з коефіцієнтами детермінації $R^2 = 0,90$ та кореляції $r = 0,93$

Рівняння множинної регресії може виглядати так:

$$y = 39,7151 + 23,4049x,$$

де x – вміст метаболітів калію в ґрунті, мг/кг ґрунту;

y – коефіцієнт концентрації калію.

Також спостерігається динаміка до зниження вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунті у випадку вирощування топінамбура, за винятком 2019 року, де в шарі ґрунту 20 – 40 см спостерігали підвищення вмісту рухомих сполук фосфору порівняно з 2018 роком на 16 мг/кг ґрунту. Аналогічна тенденція мала місце у 2018 році, де в шарі ґрунту 20 – 40 см спостерігали підвищення вмісту

рухомих сполук фосфору на 4 мг/кг порівняно з попереднім роком. У 2018 та 2019 роках відзначали стабілізацію показників умісту сполук фосфору у ґрунті в шарі глибиною 60 – 80 см у варіанті внесення добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$, а також у варіанті внесення 20 т/га ОСВ і мінерального добрива $N_{50}P_{52}K_{74}$ (рис. 4.28)

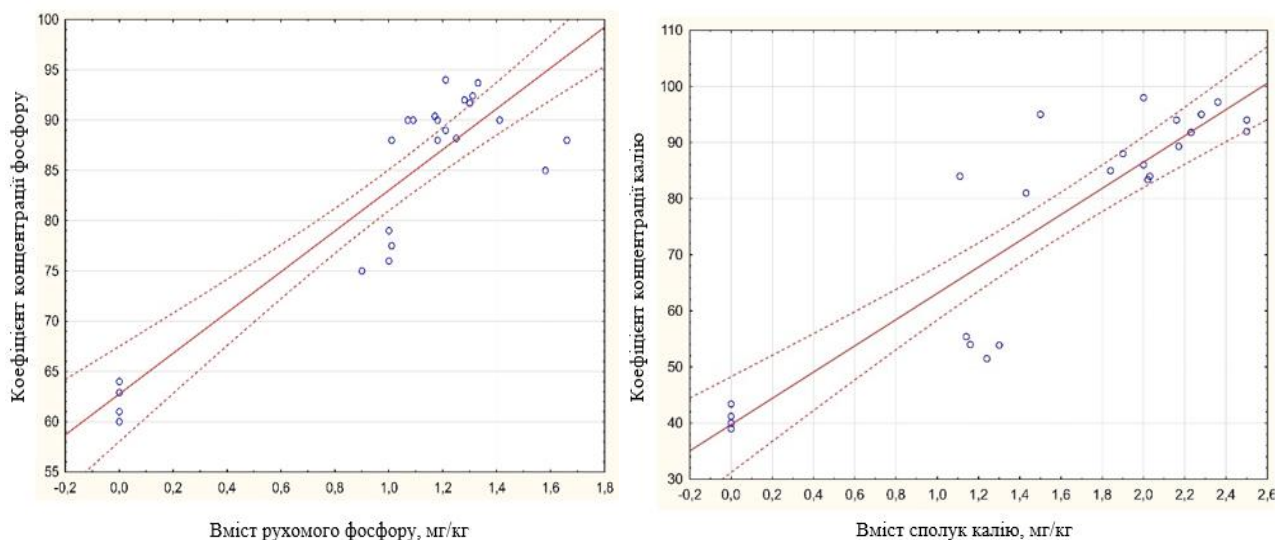


Рис. 4.28. Кореляційна залежність коефіцієнта концентрації фосфору (а) та калію (б) від вмісту їх сполук у дерново-підзолистому ґрунті

Найвищий вміст рухомих сполук фосфору (186,5 мг/кг) зафіксований у верхньому шарі ґрунту після внесення ОСВ в дозі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$. Мінімальне значення спостерігали у контрольному варіанті, яке складало 50,75 мг/кг ґрунту. Вміст рухомих форм фосфору у ґрунтах знижується для вирощування енергетичних культур у ряді: міскантус → сільфія пронизанолиста → топінамбур → світчграс → верба енергетична [302 – 306].

Найнижчі концентрації фосфатів у ґрунтах у випадку вирощування фітоенергетичних культур встановлені у контрольному варіанті. Найвищі концентрації рухомих сполук фосфору у ґрунті у випадках вирощування сільфії пронизанолистої, світчграсу, топінамбура встановлені у варіанті внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, у випадку вирощування міскантуса – у варіанті внесення компосту у дозі 30 т/га і мінерального добрива $N_{30}K_{55}$. Максимальний середній вміст сполук фосфору у

ґрунті у разі вирощування верби енергетичної встановлено у варіанті внесення компосту ОСВ із соломою у дозі 60 т/га.

У випадку вирощування топінамбура в шарі ґрунту глибиною 60 – 80 см зафіксовано стабільний уміст сполук калію у варіанті, де вносили мінеральні добрива $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$.

Після внесення ОСВ під сильфію пронизанолисту, міскантус, світчграс і топінамбур встановлено найвищі коефіцієнти концентрації рухомих сполук калію в шарі ґрунту 0 – 20 см у варіанті дослідів, де вносили 40 т/га ОСВ і мінеральні добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$. Після внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$ в шарі ґрунту глибиною 40 – 60 см відзначено найнижчі середні значення коефіцієнтів концентрації рухомих сполук калію у всіх варіантах дослідів із добривами під усіма культурами.

Вміст рухомих сполук калію у ґрунтах знижується при вирощуванні фітоенергетичних культур у ряді: верба енергетична → топінамбур → міскантус → сильфія пронизанолиста → світчграс. Найнижчий уміст рухомих сполук калію у ґрунтах у разі вирощування фітоенергетичних культур встановлений у контрольному варіанті. Найвищий уміст рухомих сполук калію у ґрунті у разі вирощування усіх енергетичних культур встановлений після внесення 40 т/га ОСВ і відповідної кількості добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$.

Найнижчий уміст рухомих фосфатів у ґрунті при вирощуванні фітоенергетичних культур встановлено у контрольному варіанті.

Під час аналізу зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту та його поживного режиму після внесення добрив під енергетичні культури встановлено такі закономірності:

Внесення ОСВ під енергетичні культури як добрива сприяє покращенню азотного фонду дерново-підзолистого ґрунту, зокрема, це виражається у підвищенні вмісту різних фракцій азоту. Застосування ОСВ у дозі 20 – 40 т/га та відповідної збалансованої дози мінеральних добрив (за схемою дослідів) підвищує вміст сполук азоту амонійного з 16 до 20 – 22 мг/кг ґрунту у верхньому

шарі (0 – 20 см) ґрунту, що переважає на 20 – 28% показники контрольного варіанту. Також внесення ОСВ сприяє підвищенню вмісту нітратних сполук азоту в шарі глибиною 0 – 40 см з 1,70 до 2,52 – 2,64 мг/кг ґрунту. Ця тенденція позитивно відображається на зростанні вмісту азоту лужногідролізованих сполук, оскільки в умовах досліду цей показник зростає від 36,0 до 43,0 – 44,4 мг/кг ґрунту [304].

Найвищі показники вмісту мінеральних сполук азоту зафіксовано у варіанті з внесенням 40 т/га ОСВ та відповідною кількістю мінеральних добрив ($N_{10}P_{14}K_{58}$). Застосування компостів із ОСВ та соломою зернових культур забезпечує вміст мінеральних сполук азоту в межах 22,2 мг/кг ґрунту. Відношення вмісту лужногідролізованих сполук азоту до вмісту азоту мінеральних сполук в умовах досліду змінюється несуттєво, що опосередковано свідчить про відносно стабільний показник характеристик ґрунту, який мало змінюється під впливом добрив.

Внесення свіжого ОСВ та у вигляді компосту сприяє значному збільшенню вмісту макроелементів у ґрунті, покращенню мінерального живлення енергетичних культур.

4.2 Біологічна активність ґрунту

Використання ОСВ у свіжому вигляді та у складі компостів є одним із шляхів, які можуть сприяти поліпшенню агроекологічного стану ґрунту. Однак, для досягнення позитивного ефекту і запобігання подальшій деградації потрібний систематичний моніторинг агроекологічних властивостей ґрунтів та їх реакції на внесені зміни. Ключовим маркером агроекологічного стану ґрунту є його біологічна активність, яка залежить від мікробіологічної активності, спрямування та інтенсивності перебігу біогеохімічних реакцій, фізичних процесів у ґрунті тощо. Вміст у ґрунті макро- і мікронутрієнтів живлення рослинних ценозів і мікробіоти суттєво впливає на біологічну активність ґрунту.

Одним із ключових завдань застосування добрив і покращення живильного режиму ґрунту є підтримання ґрунту та його мікробіоти у функціонально активному стані зі збереженням процесів корисних як для самого мікробіоценозу, так і культурних рослин [13, 306, 314].

Біологічна активність ґрунту включає багато процесів, таких як розклад органічних речовин, циклічний обіг поживних речовин, формування гумусу, а також сприяння росту рослин завдяки взаємодії з ризосферними мікроорганізмами. Мікроорганізми, розкладаючи органічні сполуки, сприяють вивільненню поживних речовин, доступних рослинам. Це важливо для забезпечення родючості ґрунту та біопродуктивності агроценозів [260, 265].

Одним з показників біологічної активності ґрунту є інтенсивність розкладу органічних матеріалів. Вимірювання цієї інтенсивності дозволяє оцінити швидкість та ефективність біологічних процесів, які відбуваються у ґрунті.

Власне розкладання у ґрунті смужок лляної тканини (так званий аплікаційний метод) є простим порівняльним інструментом для визначення біологічної активності ґрунту та оцінки інтенсивності мінералізації. Цей метод дозволяє вивчати, як швидко та ефективно розкладаються органічні сполуки у ґрунті під впливом ґрунтової мікрофлори та мікрофауни.

Під час проведення досліджень за аплікаційним методом шматочки лляної тканини розподіляли вертикально у ґрунті на різній глибині та відстежували процес їх розкладання впродовж вегетаційного періоду часу. Динаміку біологічної активності ґрунту спостерігали на колекційно-дослідному полі, де вирощували вербу енергетичну. Зміни у швидкості розкладання та інтенсивності мінералізації вказували на рівень біологічної активності ґрунту. За результатами проведених досліджень інтенсивність розкладання лляної тканини при повторному внесенні осаду стічних вод змінювалася, як за варіантами досліджень, так і за глибиною ґрунту. У середньому за 4 роки досліджень в усіх варіантах досліду без винятку найвищу біологічну активність спостерігали в шарі ґрунту 0 – 20 см (рис.4.29.).

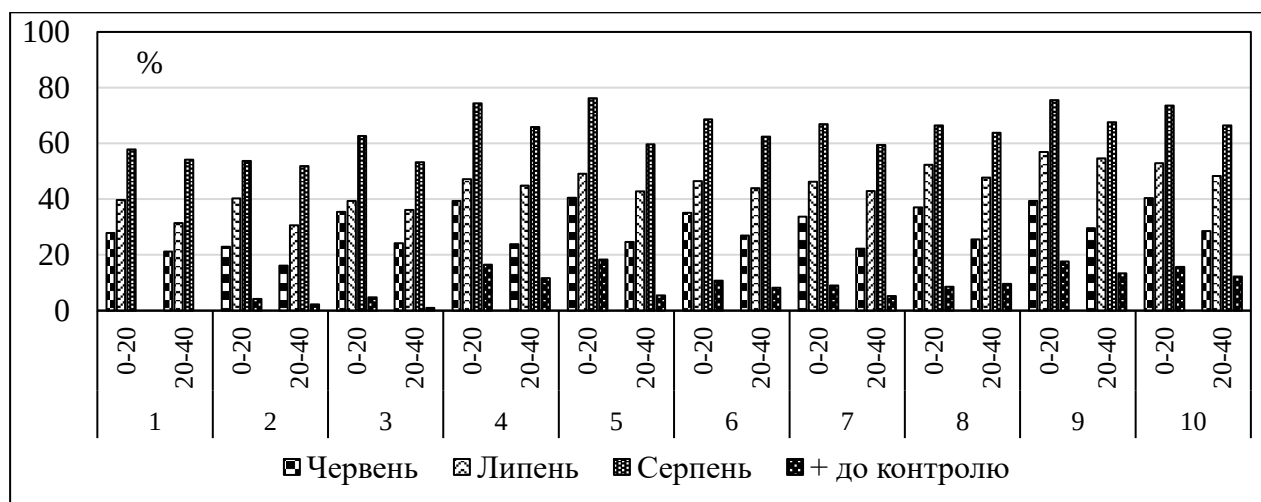


Рис. 4.29. Динаміка біологічної активності ґрунту під впливом повторного внесення ОСВ (розклад лляного полотна), середні за період 2016 – 2022 роки

Після внесення ОСВ у дозі 40 – 80 т/га за перший місяць у орному шарі ґрунту розклалося від 33,5 до 40,5% лляного полотна, а за два наступні місяці – більше 39,3 – 49,1% [31, 326].

Після внесення компостів на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 20 – 60 т/га в перший місяць у орному шарі ґрунту розклалося від 35,1 до 37,9% лляного полотна, а за два місяці – понад 56,9%. За три місяці розклад тканини спостерігали найбільший за повторного внесення ОСВ у дозі 80 т/га і становив 76,2% у шарі 0 – 20 см. За внесення компосту ОСВ + солома у дозі 60 т/га ступінь розкладання лляної тканини становив 75,5% у верхньому шарі, що на 17,6% більше порівняно з контролем без добрив. Дослідженнями, проведеними на дерново-підзолистому ґрунті, встановлено, що під енергетичними культурами мінеральні добрива сприяють зростанню загальної чисельності грибів і зниженню целюлорозкладаючих і нітрифікуючих бактерій порівняно із повторним внесенням осаду стічних вод та компостів на їх основі. Це сприяє підвищенню ґрунтовтоми ґрунту. Чисельність різних фізіологічних груп мікроорганізмів, які беруть участь у трансформації азоту та вуглею ґрунту, суттєво змінюється під впливом внесення мінеральних добрив, ОСВ та компостів на їх основі (табл. 4.15)

Таблиця 4.15

**Вплив внесення добрив під вербу енергетичну на чисельність
мікроорганізмів різних фізіологічних груп, 2022 рік, тис. КУО/г ґрунту**

Варіанти	Протеолітичні	Амілолітичні	Целюлороз- кладаючі	Мікроміцети	Нітрифікатори	Амілолітичні: Протеолітичні	Кг	Загальна
1. Без внесення добрив(контроль)	574	977	28	173	10	1,95	9,1	1762
	368	875	49	256	18	2,67	5,4	1566
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	764	1028	51	196	14	1,78	11,6	2053
	490	890	43	335	21	2,45	6,7	1779
3. ОСВ 40 т/га	793	1149	67	220	29	1,69	12,9	2258
	515	915	66	369	38	2,30	7,3	1903
4. ОСВ 60 т/га	889	1267	73	278	39	1,50	13,5	2546
	546	938	74	399	57	2,21	7,9	2014
5. ОСВ 80 т/га	1037	1379	86	312	48	1,35	14,8	2862
	598	967	85	467	69	2,14	8,4	2186
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	896	1179	70	274	26	1,54	13,0	2445
	503	914	71	401	42	2,02	7,1	1931
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	909	1087	65	211	33	1,78	12,6	2305
	439	893	65	361	48	2,15	7,5	1806
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	978	1123	71	234	38	1,65	13,1	2444
	516	906	75	379	56	2,28	8,0	1932
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	1039	1256	78	269	41	1,51	13,8	2683
	553	919	79	390	59	2,39	8,6	2000
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	956	1290	69	334	45	1,48	14,6	2694
	504	907	72	367	54	2,31	7,9	1904

Зокрема, за повторного внесення мінеральних добрив у нормі N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ (варіант 2) загальна кількість мікроорганізмів зростала на 291 тис. КУО/г в першій половині вегетації та на 213 тис. КУО/г ґрунту в другій половині періоду.

Повторне застосування ОСВ у дозі 40 – 80 т/га сприяло підвищенню цього показника на 496 – 1100 тис. КУО/г в першій половині періоду вегетації та на 337 – 620 тис. КУО/г ґрунту – в другій.

Найвищими показниками загальної чисельності мікроорганізмів відзначалися ділянки, де повторно вносили ОСВ у дозі 80 т/га (варіант 5) та компост на основі ОСВ, соломи (3:1) та цементного пилу 10% у дозі 40 т/га (варіант 10). У цих варіантах загальна чисельність мікроорганізмів сягала 2,7 – 2,9 млн. КУО/г ґрунту відповідно в першій половині вегетації. У другій половині вегетації загальна чисельність мікроорганізмів була на рівні 1,9 – 2,1 млн КУО/г ґрунту відповідно.

Слід зазначити, що застосування ОСВ забезпечувало значне підвищення загальної чисельності мікроорганізмів у дерново-підзолистому ґрунті на місці вирощування верби енергетичної.

У структурі фізіологічних груп мікроорганізмів переважають амілолітичні бактерії. Другою за чисельністю була група протеолітичних бактерій. Їхня чисельність змінювалась у діапазоні 574 – 1039 тис. КУО/г в першій половині періоду вегетації. У другій половині вегетації відбувалось загальне зниження чисельності цієї групи мікроорганізмів у всіх варіантах дослідів, що пояснювалось сповільненням мінералізації органічних сполук у ґрунті. Зміни чисельності протеолітичних мікроорганізмів у варіантах, де застосовували компости на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 20 – 60 т/га (варіанти 7 – 9) змінювалась у широкому діапазоні: 1,0 – 9,0 млн. КУО/г в першій половині періоду вегетації. Отже, відбувається зміна співвідношення амілолітичних: протеолітичних мікроорганізмів та змінюється значення коефіцієнта трансформації органічних речовин внаслідок посилення процесів трансформації органічних сполук [315, 322].

Чисельність целюлорозкладаючих бактерій коливалась від 28 тис. КУО/г ґрунту у контрольному варіанті до 86 тис. КУО/г ґрунту у варіантах із повторним внесенням найбільшої кількості ОСВ. Для визначення характеру множинної

кореляційної залежності було застосовано методи множинного лінійного регресійного аналізу, в результаті якого встановлено тісні множинні кореляційні зв'язки між загальною чисельністю мікроорганізмів і їх співвідношенням амілолітичні : протеолітичні мікроорганізмів та біологічною активністю ґрунту (рис. 4.30.).

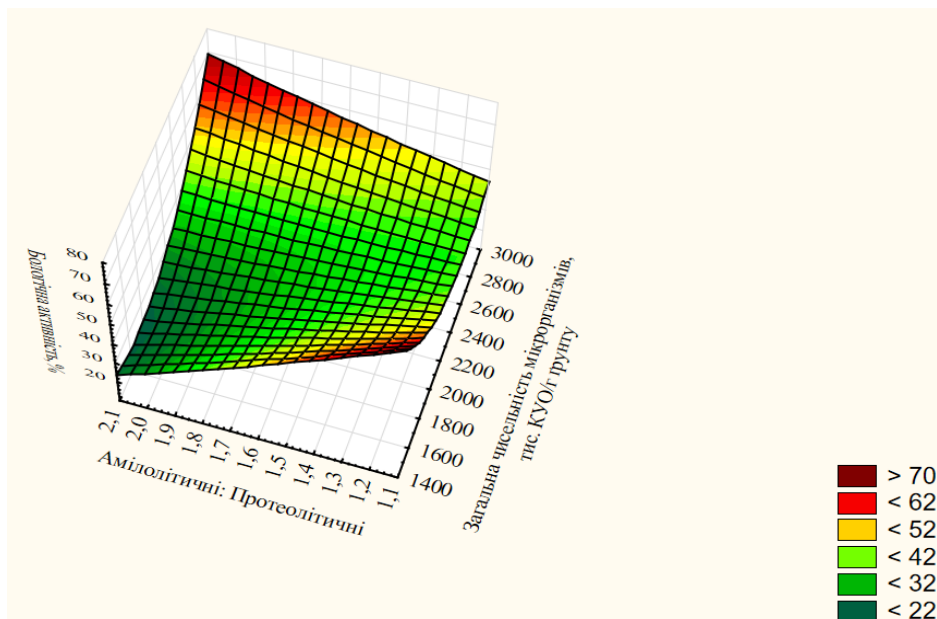


Рис. 4.30. Залежність між загальною чисельністю мікроорганізмів і співвідношенням амілолітичні : протеолітичні мікроорганізми та біологічною активністю в ґрунті

Встановлено, що загальна чисельність мікроорганізмів і їх співвідношення амілолітичні : протеолітичні мікроорганізмів та біологічна активність в ґрунті виражається рівнянням:

$$z = 385,9326 - 0,2131 * x - 137,848 * y + 3,1053E-5 * x^2 + 0,05 * x * y + 3,9971 * y^2,$$

де z – біологічна активність, %; x – співвідношення амілолітичні : протеолітичні мікроорганізми; y – загальна чисельність мікроорганізмів, тис. КУО/г ґрунту;

Відповідно до значення множинного коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,65$), кореляційний зв'язок можна вважати істотним.

Під інші енергетичні культури внесення ОСВ сприяло прояву подібних тенденцій. Після внесення ОСВ – 20 т/га + N₅₀P₅₂K₇₄ (варіант 4) в перший місяць розклалося 4% лляного полотна, за три місяці – 69,4%, що переважало на 8,3 – 14,9% контрольний варіант. У випадку вирощування світчграсу у варіанті 5 (ОСВ – 30 т/га + N₃₀P₃₃K₆₆) розклалося від 37,3 до 70,8% лляного полотна протягом трьох літніх місяців.

У разі внесення компостів (варіант 7 – 8) на основі ОСВ, соломи (3:1) та мінеральних добрив у дозі 20 – 30 т/га протягом першого місяця у орному шарі ґрунту розклалося від 34,0 до 39,2% лляного полотна, а за три місяці – від 63,6 до 67,1% розклалося лляного полотна у випадку з вирощуванням міскантуса. На площах вирощування світчграсу після внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N₅₀P₁₆K₆₇ в орному шарі ґрунту розклалося від 35,0 до 63,6% лляного полотна протягом трьох місяців.

Після внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅ у орному шарі ґрунту розклалося від 36,9 до 67,1% лляного полотна, що на 1,9 – 3,5 більше, ніж у варіанті 7 протягом трьох місяців [317].

На ділянці вирощування сільфії пронизанолистої після внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N₅₀P₁₆K₆₇ в орному шарі ґрунту розклалося від 31,7 до 56,2% лляного полотна протягом трьох місяців.

Після внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅ в орному шарі ґрунту протягом трьох місяців розклалося від 37,4 до 59,0% лляного полотна, що на 5,7 – 2,8 більше, ніж у варіанті 7. Інтенсивність розкладання тканини залежала від погодних умов. У посушливі роки вона дещо сповільнювалася (наприклад, у 2018 році), а в умовах достатнього зволоження процеси мінералізації відбувалися інтенсивніше. Підвищення доз ОСВ забезпечувало зростання інтенсивності розкладання тканини вже на ранніх етапах вегетації. Варіанти з внесенням свіжого ОСВ дещо поступалися за біологічною активністю варіантам, де вносили компости на основі ОСВ і соломи (рис. 4.31).

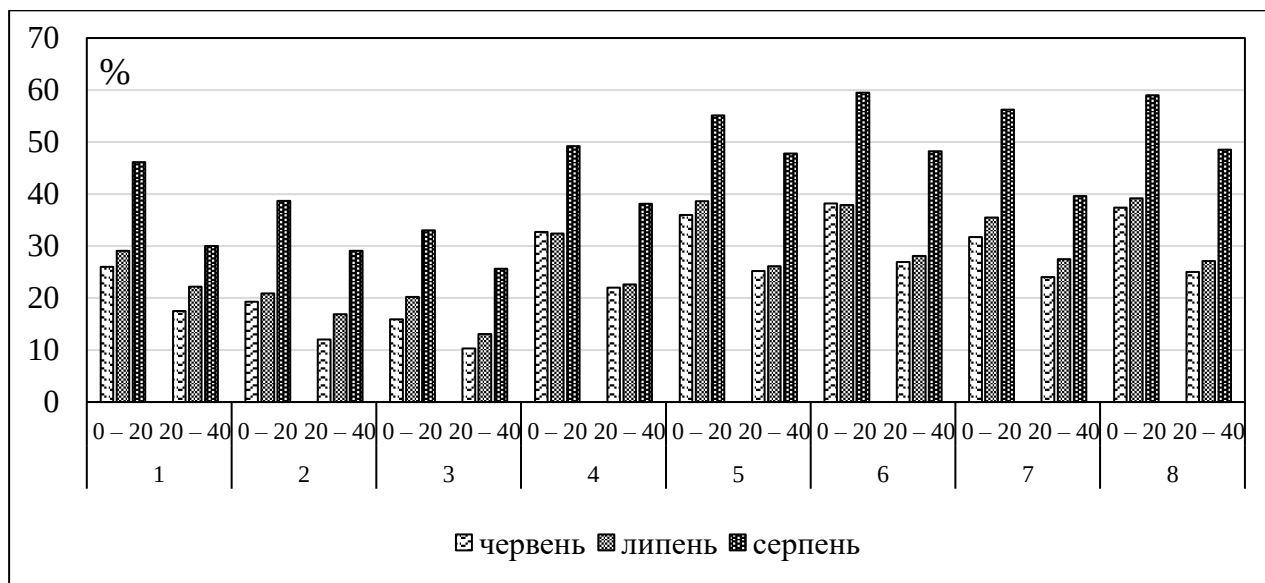


Рис. 4.31. Динаміка польової біологічної активності ґрунту під впливом внесення ОСВ під силфію пронизанолісту на прикладі розкладання лляного полотна, середній показник за 2016 – 2022 роки

Достовірність результатів перевірено і підтверджено експериментально: після внесення ОСВ біологічна активність зростає відповідно до внесених доз ОСВ (варіанти 4 – 6), але зменшується порівняно із внесенням компостів на основі ОСВ та мінеральних добрив (варіанти 7, 8).

Критерій Шапіро-Вілکا рівний 0,96. Згідно отриманих результатів із імовірністю 96 відсотків розподіл є нормальним.

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме 0,53) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова-Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.4.32).

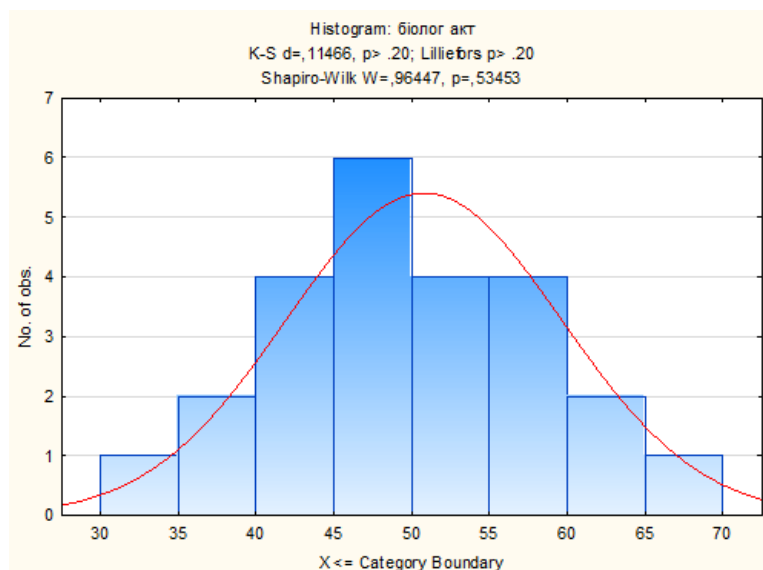


Рис. 4.32. Нормальний розподіл даних польової біологічної активності за вирощування сильфії пронизанолистої

Чисельність різних фізіологічних груп мікроорганізмів змінюється під впливом внесеного добрива та є неоднаковою для різних фітоенергетичних культур. Зокрема, загальна чисельність мікроорганізмів у випадку вирощування трав'янистих культур (міскантус, світчграс, сильфія пронизаноліста) була найвищою на ділянках, де вносили ОСВ у нормі 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6). У цьому варіанті загальна чисельність мікроорганізмів сягала 3060 та 3077 тис. КУО/г ґрунту відповідно в першій половині вегетації. У другій половині – загальна чисельність мікроорганізмів перебувала на рівні 1814 – 1832 тис. КУО/г ґрунту відповідно.

Критерій Шапіро-Вілکا (Shapiro-Wilk) рівний 0,96 (рис.4.31 а) та 0,97 (рис.4.31 б). 96 та 97 відсотків розподіл вважається нормальним. При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме, 0,63 та 0,84) це означає, що нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова-Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу: p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.4.33).

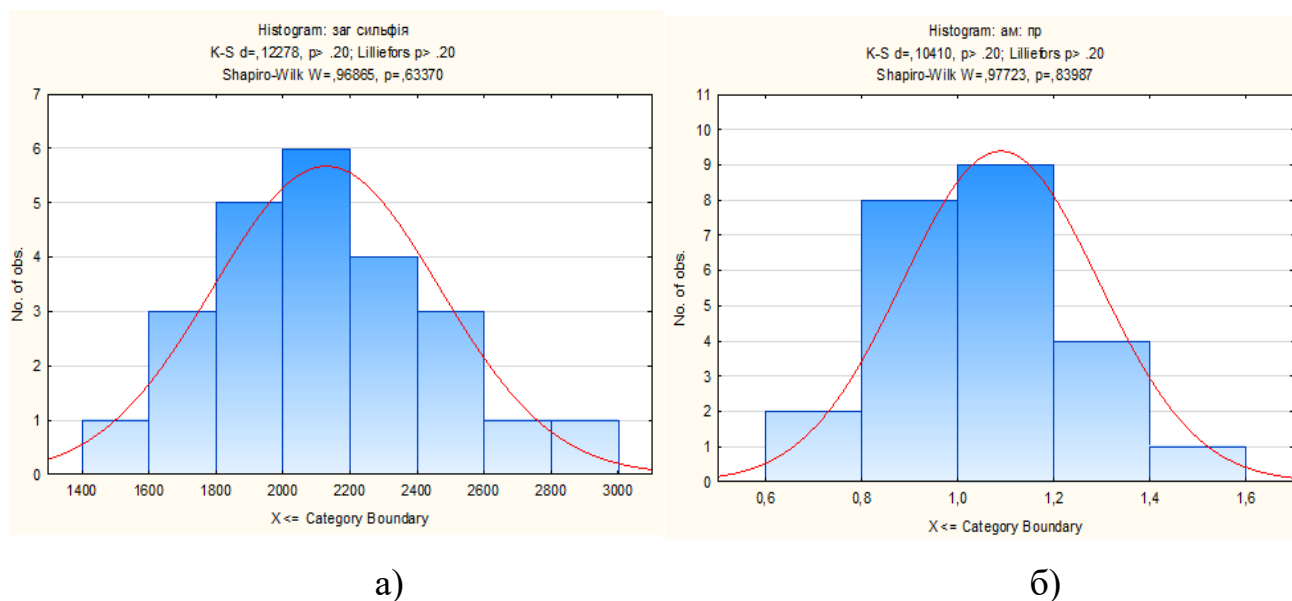


Рис. 4.33. Нормальний розподіл даних а) співвідношення мікроорганізмів: амілолітичні : протеолітичні; б) загальної чисельності мікроорганізмів за вирощування сільфії пронизанолистої, КУО/г

У структурі фізіологічних груп мікроорганізмів переважають амілолітичні бактерії. Другою за чисельністю була група протеолітичних бактерій. Їхня чисельність (варіанти 4 – 6) змінювалась у діапазоні 959 – 1159 тис. КУО/г для міскантуса та у діапазоні 960 – 1161 тис. КУО/г для світчграсу в першій половині періоду їх вегетації. У другій половині періоду вегетації відбувалось загальне зниження чисельності цієї групи мікроорганізмів у всіх варіантах досліджу.

Зміни чисельності протеолітичних мікроорганізмів у варіантах, де застосовували компости (варіанти 7, 8) змінювалась у діапазоні 984 – 1072 тис. КУО/г для міскантуса та 986 – 1064 тис. КУО/г для світчграсу в першій половині періоду вегетації. Чисельність целюлозорозкладаючих бактерій склала 28 та 44 тис. КУО/г ґрунту у контрольному варіанті відповідно для міскантуса та світчграсу, проте у варіантах із внесенням найбільшої дози ОСВ (варіант 6) склав 97 тис. КУО/г ґрунту, що на 7 тис. КУО/г ґрунту менше, ніж показник у ґрунті на ділянках вирощування світчграсу. Критерій Шапіро-Віллка (Shapiro-Wilk) рівний 0,96% (рис.4.32 а) та 0,94% (рис.4.32 б). 96% та 94%. Отже, розподіл є

нормальним. При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме, 0,44 та 0,19). Це означає що нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова - Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу: p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис. 4.34).

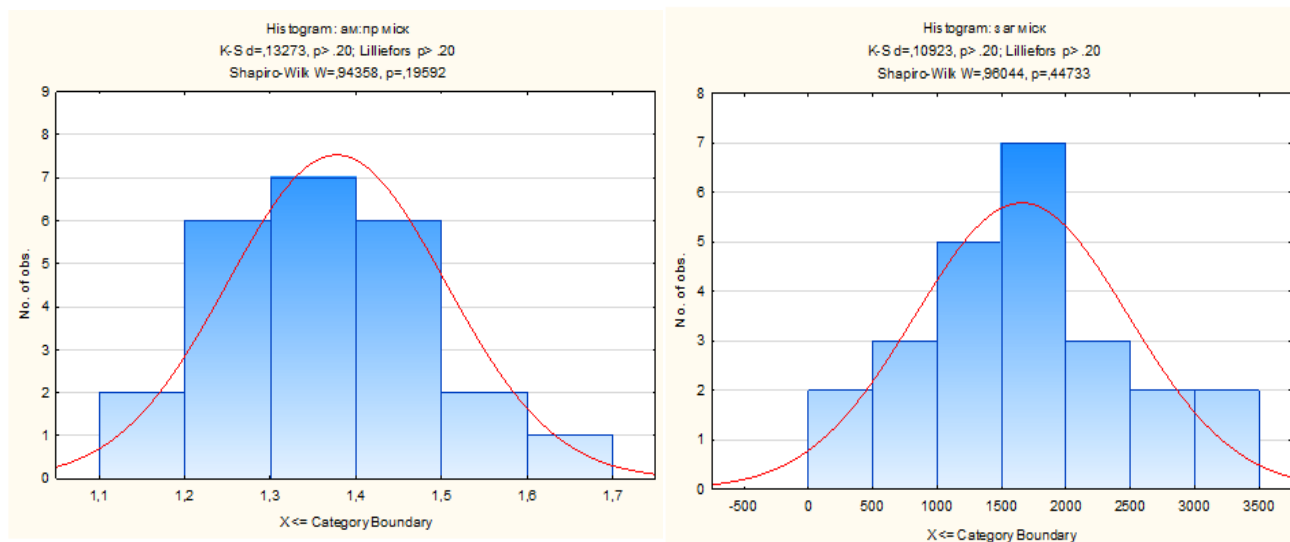


Рис. 4.34. Нормальний розподіл даних а) співвідношення мікроорганізмів амілолітичні : протеолітичні; б) загальної чисельності мікроорганізмів за вирощування міскантуса, КУО/г

Критерій Шапіро-Вілка рівний 0,95. (рис.4.35).

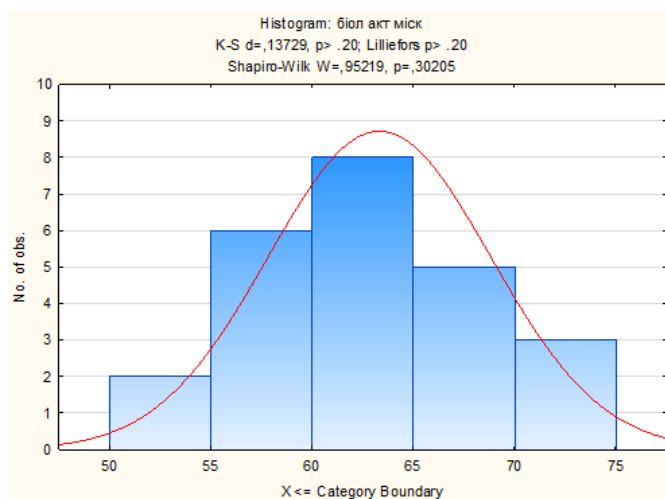


Рис. 4.35. Нормальний розподіл даних польової біологічної активності за вирощування міскантуса

Контрольний критерій Колмогорова-Смірнова підтверджує нормальність розподілу: p -рівень більший за 0,2.

Тип розподілу даних у змінних у разі вирощування світчґрасу. Якщо дані розподілені нормально, то це дозволяє у подальшому використовувати параметричні методи аналізу, такі як t -критерій Стюдента, ANOVA тощо (рис. 4.36)

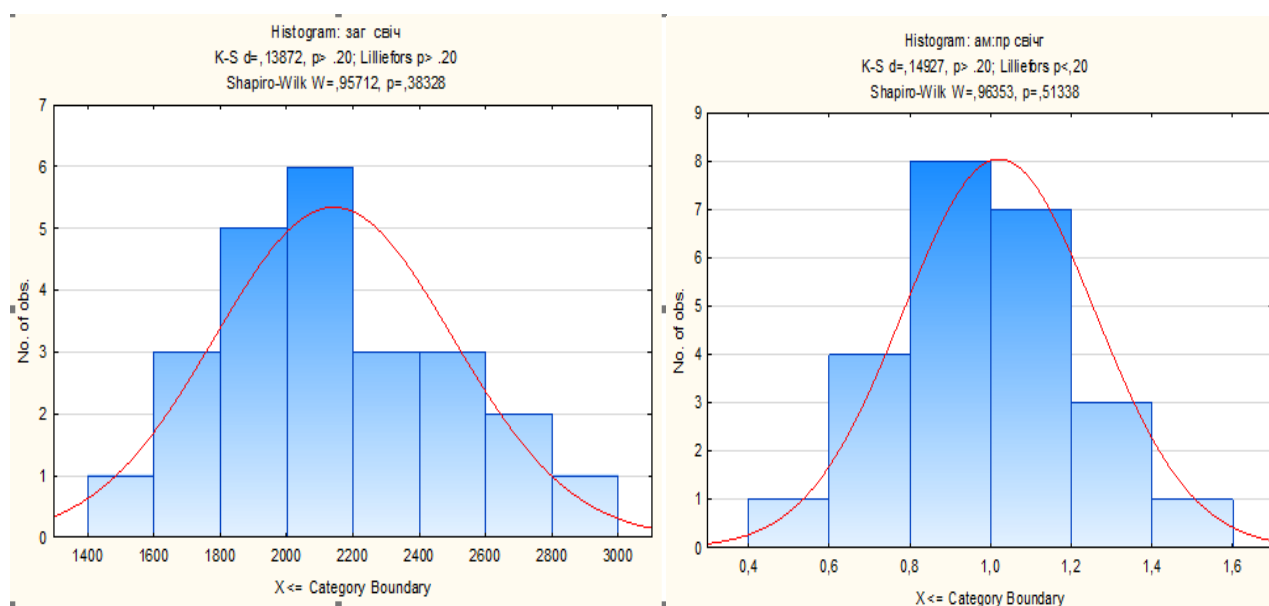


Рис. 4.36. Нормальний розподіл даних а) співвідношення мікроорганізмів амілолітичні : протеолітичні; б) загальної чисельності мікроорганізмів за вирощування світчґрасу, КУО/г

Критерій Шапіро-Вілکا рівний 0,96% (рис.4.32 а) та 0,94% (рис.4.32 б). 96% та 94% вказує на нормальний розподіл. При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме, 0,44 та 0,19). Це означає, що нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова-Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу: p -рівень даного критерію більший за 0,2. Після внесення ОСВ та мінеральних добрив змінювалась біологічна активність відповідно до доз внесення удобрення, при цьому максимальною вона

залишалася у варіанті 6 та 8 (ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈ та компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅) (рис.4.37).

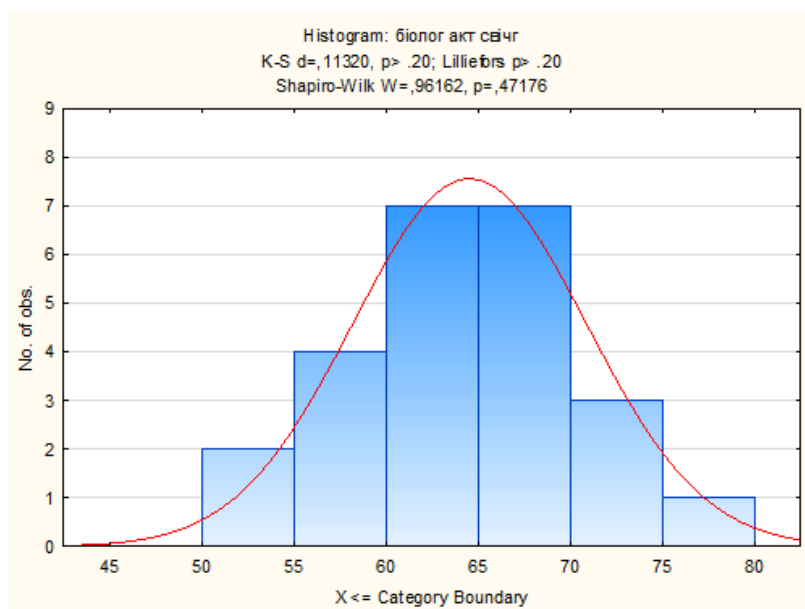


Рис. 4.37. Нормальний розподіл даних польової біологічної активності за вирощування світчграса

Таким чином, встановлено тісні множинні кореляційні зв'язки між загальною чисельністю мікроорганізмів і їх співвідношенням амілолітичні : протеолітичні та біологічною активністю в ґрунті під час вирощування досліджуваних фітоенергетичних культур. Встановлено, що загальна чисельність мікроорганізмів і їх співвідношення амілолітичні : протеолітичні та біологічною активністю в ґрунті у випадку вирощування сільфії пронизанолистої виражається рівнянням:

$$z = -193,0804 + 0,1207 * x + 155,6046 * y - 1,668 \cdot 10^{-5} * x^2 - 0,0266 * x * y - 35,9082 * y^2; \quad (a)$$

$$z = 72,3259 - 0,0106 * x - 12,4074 * y + 8,625 \cdot 10^{-7} * x^2 + 0,0087 * x * y + 0,2657 * y^2; \quad (б)$$

$$z = -60,0565 + 0,0949 * x + 15,2231 * y - 1,604 \cdot 10^{-5} * x^2 - 0,0105 * x * y + 1,1191 * y^2; \quad (c)$$

де z – біологічна активність, %;

x – співвідношення мікроорганізмів амілолітичні : протеолітичні;

у – загальна чисельність мікроорганізмів, тис. КУО/г ґрунту.

Згідно значення множинного коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,759$; $R^2 = 0,749$; $R^2 = 0,823$), кореляційний зв'язок можна вважати тісним для всіх енергетичних культур.

Результати досліджень вказують на суттєву залежність стану мікроорганізмів у ґрунті від дози і схеми внесення ОСВ. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2, 3) забезпечувало зростання загальної чисельності мікроорганізмів на 198 – 316 тис. КУО/г в першій половині періоду вегетації сільфії пронизанолистої та на 119 – 241 тис. КУО/г ґрунту в другій половині вегетації порівняно з контрольним варіантом.

Сумісне внесення 20 – 40 т/га ОСВ та компенсаційної дози мінеральних добрив сприяло підвищенню цього показника на 807 – 1311 тис. КУО/г в першій половині періоду вегетації та на 281 – 424 тис. КУО/г ґрунту в другій половині періоду вегетації порівняно з варіантом 1 (табл 4.16).

Таблиця 4.16

Вплив удобрення сільфії пронизанолистої на чисельність мікроорганізмів різних фізіологічних груп, 2022 рік, тис. КУО/г ґрунту

Варіанти	Протеолітичні	Амілолітичні	Целюлороз- кладаючі	Мікроміцети	Нітрифікатори	Амілолітичні: Протеолітичні	Кт	Загальна
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Без внесення добрив – контроль	512	958	12	146	5	1,40	7,6	1633
	332	793	24	275	10	1,94	4,5	1434
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$	625	998	29	167	12	0,93	8,0	1831
	367	834	18	311	23	1,51	6,7	1553
3. $N_{90}P_{90}K_{90}$	706	1025	33	175	10	0,80	8,5	1949
	412	869	34	340	20	1,65	6,9	1675

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	929	1277	65	156	13	0,86	9,1	2440
	429	892	65	302	27	1,74	7,1	1715
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1025	1401	70	148	16	0,91	9,8	2660
	487	901	70	284	35	1,89	7,5	1777
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1129	1583	77	137	18	0,97	10,9	2944
	499	989	78	256	36	2,04	7,9	1858
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	754	1259	68	154	14	0,94	9,0	2249
	396	808	70	300	30	1,78	6,5	1604
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1002	1387	72	145	15	0,96	9,7	2621
	478	867	76	273	35	1,80	7,3	1729
НІР _{0,05}	0,39	0,38	0,38	0,39	0,38	0,32	0,03	4,19
	0,38	0,38	0,38	0,38	0,39	0,69	0,03	4,18

R^2 для енергетичних культур (а – сильфія пронизанолиста, міскантус гігантський, світчграс склало 0,74; 0,75 та 0,82 відповідно. Це означає, що дані математичні моделі пояснюють близько 74 – 82% мінливості. Рівень статистичної достовірності (значущості) рівний $p=0,003$, що відповідає заданим рамкам високої статистичної достовірності, а саме, $p<1,22$. Одним із найважливіших показників є середня відносна абсолютна похибка. Вона показує похибку математичної моделі під час оцінки біологічної активності. Абсолютне значення цієї похибки склало 2,002%; 2,11%; 0,023, що є прийнятним результатом.

У варіантах 2 і 3, де вносили мінеральні добрива N₆₀₋₉₀P₆₀₋₉₀K₆₀₋₉₀, розклалося від 36,1 до 35,5% лляного полотна протягом трьох місяців в орному шарі ґрунту та 30,8 – 23,0 в підорному шарі ґрунту. Після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) в перший місяць у орному шарі ґрунту на ділянках вирощування топінамбура розклалося від 28,5 до 33,6% лляного полотна, а за три

місяці – від 38,0 до 57,7%, що відрізняється від контрольного варіанту на 6,7 – 13,0%. На площах вирощування сільфії пронизанолистої у варіантах 4 – 6 розклалося від 38,1 до 59,5% лляного полотна за однаковий проміжок часу.

Для визначення характеру множинної кореляційної залежності було застосовано методи множинного лінійного регресійного аналізу, результати яких наведено на рис. 4.38.

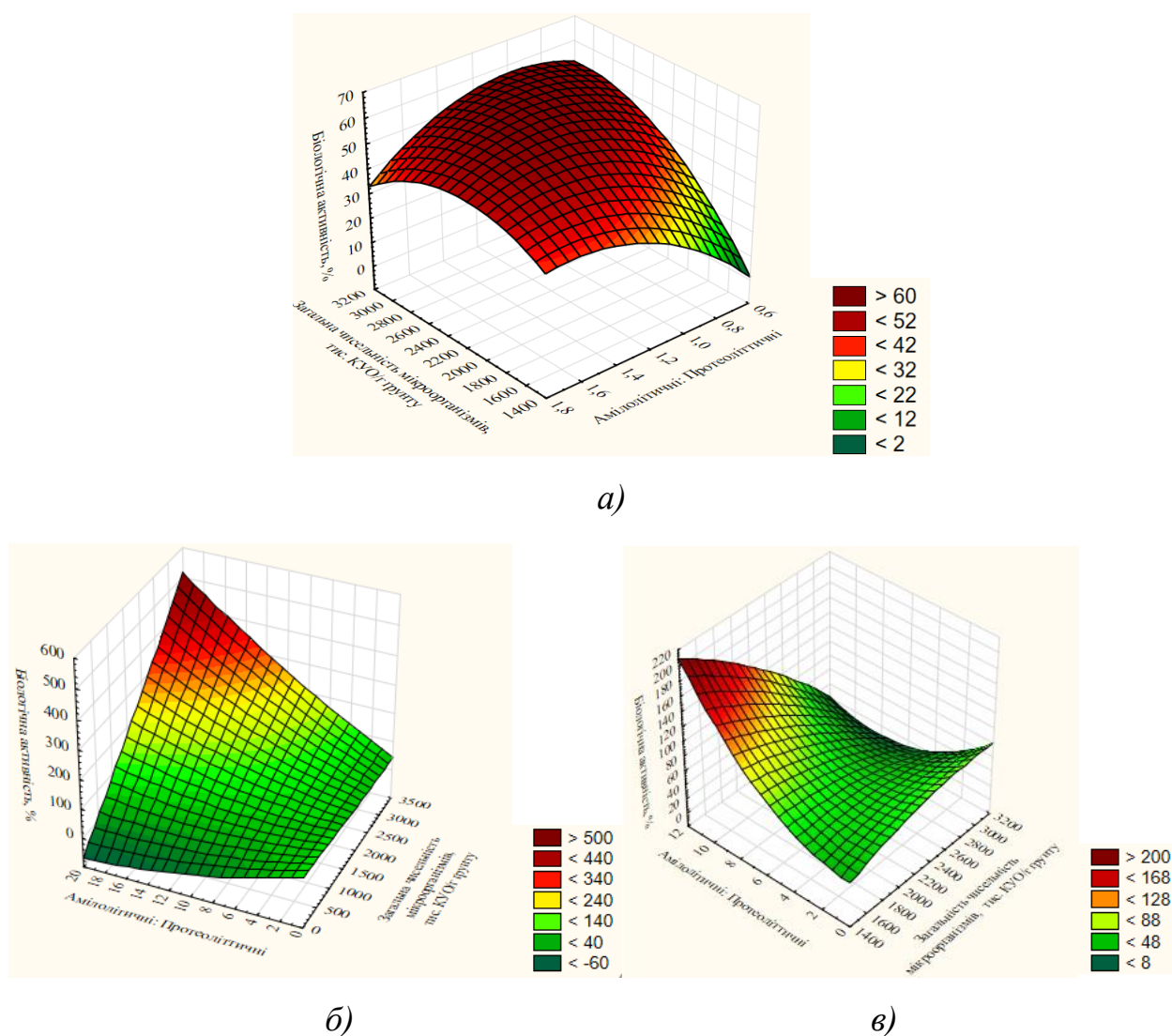


Рис. 4.38. Залежність між загальною чисельністю мікроорганізмів і співвідношенням мікроорганізмів амілолітичні : протеолітичні та біологічною активністю в ґрунті

а – сільфія пронизанолиста (*Silphium perfoliatum* L.);

б – міскантус гігантський (*Miscanthus giganteus*);

в – світчграс (*Panicum Virgatum* L)

Після внесення компостів (варіант 7 – 8) на основі ОСВ, соломи (3:1) та мінеральних добрив у дозі 20 – 30 т/га в перший місяць у орному шарі ґрунту розклалося від 29,9 до 33,0% льняного полотна, а за два місяці – більше від 33,2 до 36,3% у випадку вирощування топінамбура (рис. 4.39).

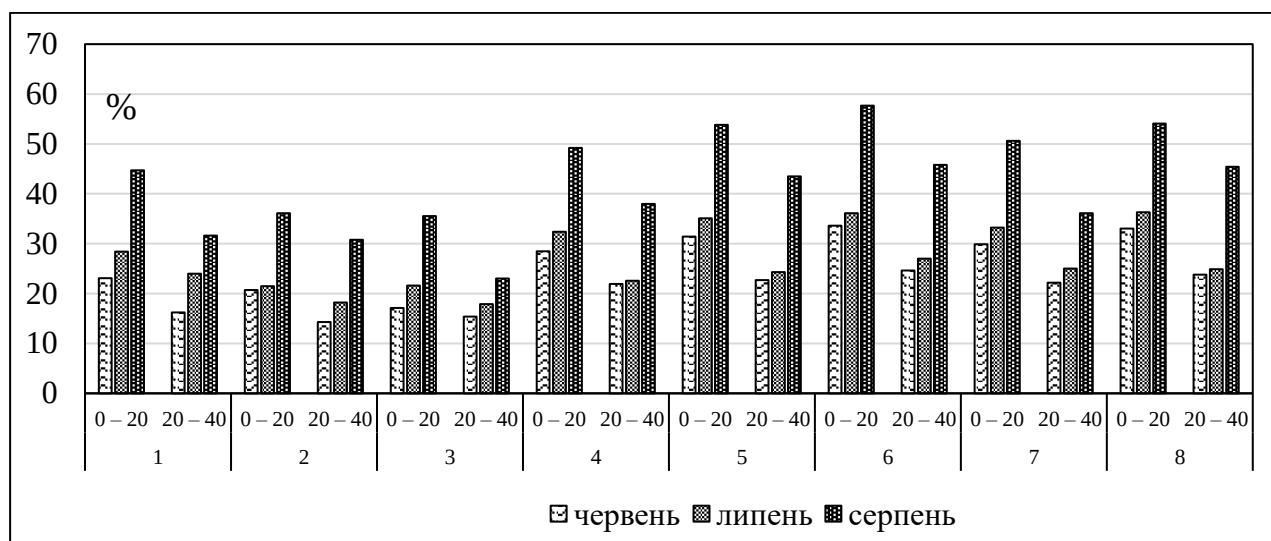


Рис. 4.39. Динаміка польової біологічної активності ґрунту за внесення ОСВ під топінамбур (розкладання льняної тканини),

Середні значення за 2016 – 2022 роки

Найвищими показниками загальної чисельності мікроорганізмів відзначалися ділянки топінамбура, де вносили ОСВ у нормі 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6). У цьому варіанті загальна чисельність мікроорганізмів сягала 3002 та 1694 тис. КУО/г ґрунту відповідно в першій та другій половині періоду вегетації (табл. 4.17).

У структурі фізіологічних груп мікроорганізмів переважають амілолітичні бактерії. Другою за чисельністю була група протеолітичних бактерій, яка змінювалась у діапазоні 943 – 1143 тис. КУО/г ґрунту у варіантах за внесення ОСВ 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6), 968 – 1056 тис. КУО/г ґрунту (варіанти 7 і 8). Кількість амілолітичних та целюлозорозкладаючих бактерій у варіантах 4 – 6

змінювалась у діапазоні 1291 – 1597 тис. КУО/ г ґрунту та 79 – 91 тис. КУО/ г ґрунту відповідно [323].

Таблиця 4.17

**Вплив внесення добрив під топінамбур на чисельність мікроорганізмів
різних фізіологічних груп, 2016 – 2022 рік, тис. КУО/г ґрунту**

Варіанти	Протеолітичні	Амілолітичні	Целюлороз кладаючі	Мікрміцети	Нітрифікатори	Амілолітичні Протеолітичні	Кт	Загальна кількість
1. Без внесення добрив – контроль	526	972	26	160	7	1,80	8,9	1691
	378	810	51	273	18	2,67	4,1	1530
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	639	1012	43	191	14	1,33	13,3	1899
	389	834	44	344	26	2,43	7,2	1637
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	720	1039	47	189	12	1,20	12,6	2007
	401	896	49	366	26	2,03	7,9	1738
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	943	1291	79	170	15	1,26	14,3	2498
	438	847	74	189	32	2,12	9,0	1580
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1039	1415	84	162	18	1,31	15,8	2718
	475	861	84	197	41	2,34	10,2	1658
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	1143	1597	91	151	20	1,37	18,3	3002
	489	878	90	189	48	2,46	10,6	1694
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	968	1273	82	168	16	1,34	14,1	2507
	412	851	87	180	34	2,29	8,6	1564
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1056	1401	86	159	19	1,36	16,0	2721
	457	876	91	199	27	2,38	9,1	1650

Для визначення характеру множинної кореляційної залежності застосовано метод множинного лінійного регресійного аналізу, результати якого наведено на рис. 4.40.

За результатами проведених досліджень загальна залежність чисельності мікроорганізмів, їх співвідношення амілолітичні : Протеолітичні та біологічної

активності в ґрунті у випадку вирощування топінамбура може бути виражена рівнянням:

$$z = -200,1139 + 0,0626 * x + 263,7416 * y + 2,1981E-5 * x^2 - 0,1112 * x * y - 17,9653 * y^2,$$

де z – біологічна активність, %;

x – співвідношення мікроорганізмів амілолітичні: Протеолітичні;

y – загальна чисельність мікроорганізмів, тис. КУО/г ґрунту.

Множинний коефіцієнт кореляції становить $R^2 = 0,57$.

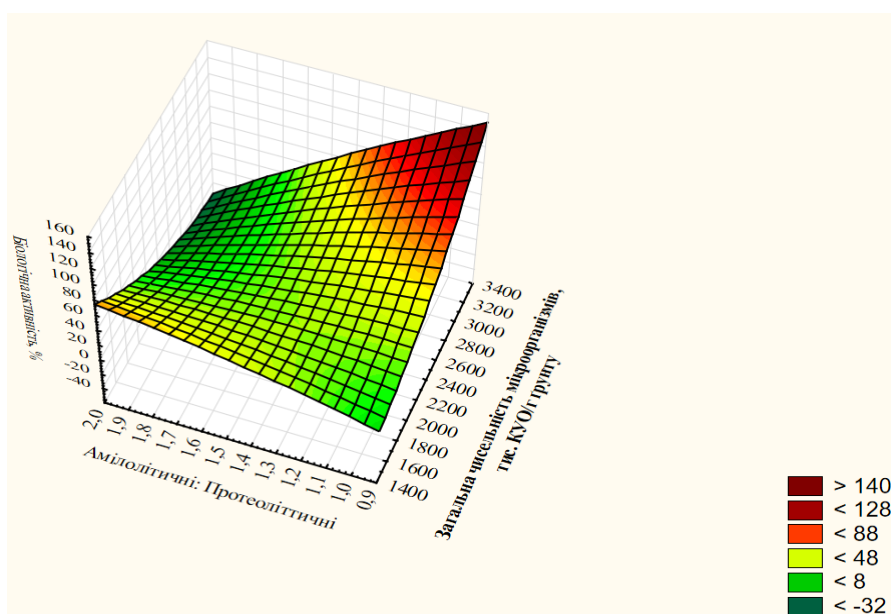


Рис. 4.40. Залежність між загальною чисельністю мікроорганізмів їх співвідношенням амілолітичні : протеолітичні мікроорганізми та біологічною активністю в ґрунті, тис. КУО/г ґрунту

R^2 рівний 0,57 – це означає, що дана математична модель пояснює близько 57 – 58% мінливості. Рівень статистичної достовірності (значущості) рівний $p=0,002$, що відповідає заданим рамкам високій статистичній достовірності, а саме $p<1,22$. Абсолютне значення абсолютної похибки відповідно 2,002 %; 2,11 %; 0,023, що є прийнятним результатом [321].

В умовах дослідження повторне внесення ОСВ та компостів на його основі у випадку вирощування верби енергетичної 2-го циклу використання по-різному

впливають на біологічний стан дерново-підзолистого ґрунту. Під впливом ОСВ зростає чисельність усіх фізіологічних груп мікроорганізмів ґрунту.

В умовах дослідів використання ОСВ та компостів на його основі за вирощування енергетичних культур по-різному впливають на біологічний стан дерново-підзолистого ґрунту. Під впливом удобрення ОСВ та мінеральних добрив зростає чисельність усіх фізіологічних груп мікроорганізмів ґрунту.

Наші дослідження показали, що інтенсивність розкладу лляної тканини змінювалася як за варіантами дослідів, так і за глибиною ґрунту. У середньому за 4 роки досліджень в усіх варіантах дослідів без винятку найвищу біологічну активність спостерігали в шарі ґрунту 0 – 20 см – орному, що пояснюється кращим температурним режимом та аерацією, що сприяло життєдіяльності мікроорганізмів.

Таким чином, на основі аналізу даних досліджень біологічної активності ґрунту за інтенсивністю розкладу лляної тканини можна зробити висновок, що внесення усіх видів добрив активізувало, в тій чи іншій мірі, життєдіяльність мікрофлори ґрунту.

Найбільший позитивний вплив на біологічну активність ґрунту здійснило внесення компостів на основі ОСВ, а найбільшою біологічною активністю відзначався шар ґрунту 0 – 20 см. Внесення мінеральних добрив істотно не вплинуло на цей показник.

4.3 Фітосанітарний стан ґрунту

Рослини відіграють важливу роль у трофічних ланцюгах, зокрема, у поглинанні забруднювачів ґрунту. Рослини виконують функцію біомоніторів ґрунтів (що, в свою чергу, несе зміни у їхньому рості, розвитку та здоров'ї), слугують індикаторами токсичності або рівня забрудненості довкілля. Для оцінки токсичності ґрунту використовували метод Гродзинського [36]. Цей метод включав аналіз реакції рослин на забруднення ґрунту, через вимірювання

таких маркуючих параметрів, як схожість і енергія проростання насіння та накопичення в ньому сухої речовини. Шляхом біомоніторингу можна відслідковувати зміни у якості ґрунту через певний час, а також виявляти можливі проблеми зі забрудненням чи токсичністю довкілля за допомогою аналізу реакції рослин.

Як тестові культури використовували редиску (*Raphanus sativus*.), капусту білоголову (*Brassica oleracea* var. *capitata*) і крес-салат (*Lepidium sativum* L.). На основі проведених досліджень виявлено неоднозначність різних видів рослин на тест-реакції.

Встановлено високу чутливість рослин до дії ОСВ як забруднювача ґрунту: довжина кореня та висота пагона підсадженої редиски звичайної на ділянках вирощування верби енергетичної становила 0,58 – 0,60 см та 0,28 – 0,31 см відповідно, а капусти білоголової – 0,49 – 0,54 см та 2,49– 2,65 см відповідно. Коефіцієнт варіації морфологічних показників для капусти становив близько 9,81% для довжини кореня та 3,62% для висоти пагона (табл. 4.18).

Таблиця 4.18

Чутливість тест-культур до повторного внесення осаду стічних вод у дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної

Варіант	Редиска (<i>Raphanus sativus</i>)	
	довжина кореня	висота пагона
	min-max, см	min-max, см
1	2	3
1. Без внесення добрив (контроль)	0,58 – 0,60	0,28 – 0,31
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0,50 – 0,55	0,25 – 0,28
3. ОСВ – 40 т/га	0,43 – 0,48	0,21 – 0,23
4. ОСВ – 60 т/га	0,40 – 0,43	0,20 – 0,24
5. ОСВ – 80 т/га	0,39 – 0,42	0,19 – 0,20
6. Компост ОСВ + тирса (3:1) – 60 т/га	0,44 – 0,45	0,22 – 0,23
7. Компост ОСВ + солома (3:1) – 20 т/га	0,47 – 0,49	0,23 – 0,25
8. Компост ОСВ + солома (3:1) – 40 т/га	0,45 – 0,47	0,22 – 0,24
9. Компост ОСВ + солома (3:1) – 60 т/га	0,41 – 0,43	0,20 – 0,23
10. Компост ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10% – 40 т/га	0,43 – 0,45	0,22 – 0,23

1	2	3
$HP_{0,05}$	0,02 – 0,02	0,01 – 0,01

Коефіцієнт варіації морфологічних показників для редиски, становив близько 1,41% для довжини кореня та 0,7% для висоти пагона (рис. 4.41.).

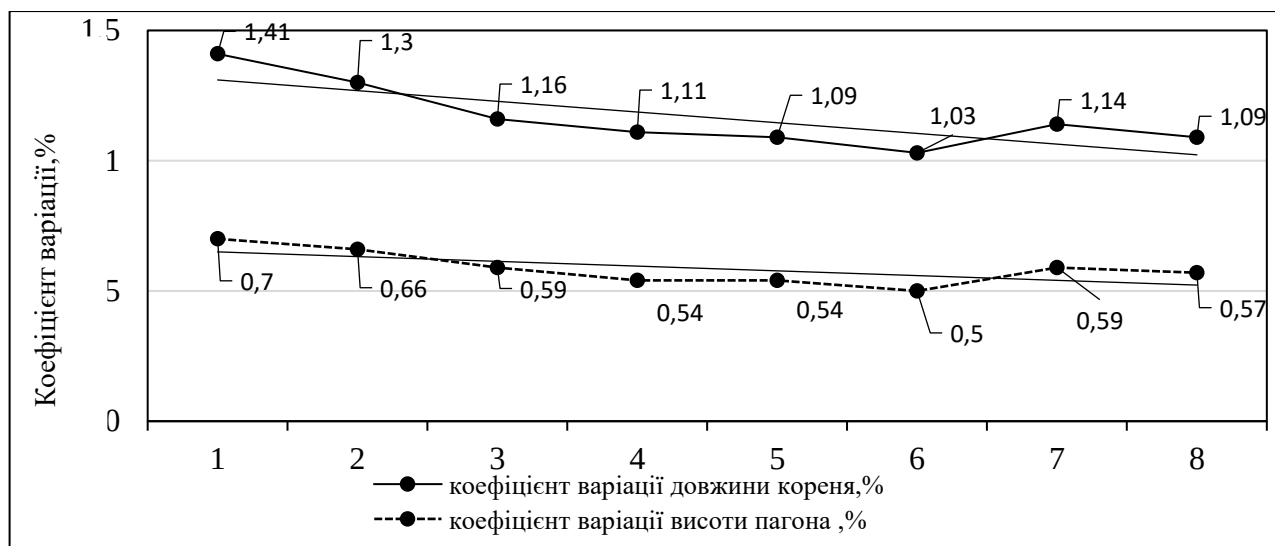


Рис. 4.41. Коефіцієнт варіації морфологічних показників для редиски (*Raphanus sativus*), середнє за 2016 – 2022 роки

Проведений аналіз ґрунту свідчить, що рівні пригнічення ростових процесів фітоіндикаторів у тест-варіантах після повторного внесення компостів (варіанти 6 – 10) хоч і коливаються в межах від 38 до 39 % для редиски, капусти білоголової та крес-салату, але вони визначають токсичність проб ґрунту на рівні «середній».

У зразках ґрунту, де вносили ОСВ у дозі 40 – 80 т/га, токсичність ґрунту відзначалася в межах від 40 до 46%, або на рівні „вище середнього”.

На ділянках вирощування сільфії пронизанолистої встановлено високу чутливість до дії ОСВ як забруднювача ґрунту: довжина кореня та висота пагона редиски звичайної тут становила 0,60 – 0,62 см та 0,30 – 0,31 см у контрольному варіанті відповідно (табл. 4.19).

Таблиця 4.19

**Рівні токсичності дерново-підзолистого ґрунту за повторного внесення
осаду стічних вод за вирощування верби енергетичної**

Варіант	Фітотоксичний ефект			Рівень токсичності
	редиска	Капуста білоголова	крес-салату	
	у відсотках			
Без добрив – контроль	20	18	21	Слабкий
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	27	25	30	Середній
3. ОСВ – 40 т/га	44	40	44	вище середнього
4. ОСВ – 60 т/га	45	41	45	вище середнього
5. ОСВ – 80 т/га	46	42	45	вище середнього
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	37	38	38	Середній
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	36	34	34	Середній
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	37	36	37	Середній
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	38	39	37	Середній
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	37	38	39	Середній
НІР _{0,05}	0,33	0,33	0,33	

Коефіцієнт варіації морфологічних показників становив близько 1,03 – 1,41% для довжини її кореня та 0,50 – 0,70% для висоти пагона. У варіантах, де вносили найбільшу кількість ОСВ та мінеральні добрива (варіант 4 – 6) відповідно схеми дослідів: довжина кореня редиски звичайної 0,43 – 0,49 см, а висота пагона – 0,21 – 0,24 см. Після внесення компостів на основі ОСВ (варіант 7 – 8) відповідно змінювалась довжина кореня 0,45 – 0,50 см та висота пагона 0,23 – 0,26 см редиски звичайної [316, 322].

Чутливість тест культури на прикладі капусти білоголової до дії ОСВ як забруднювача ґрунту на ділянках сильфії пронизанолистої у варіантах 4 – 6

становила: 3,09 – 3,51 см довжина кореня та 1,47 – 1,87 см висота пагона відповідно, що на 0,81 – 0,78 см менше довжина кореня у контрольному варіанті без внесення добрив та 1,02 – 0,87 см висота пагона відповідно.

Коефіцієнт варіації морфологічних показників для капусти становив близько 7,02 – 8,86% для довжини кореня відповідно до варіантів дослідження та 2,14 – 3,62 % - для висоти пагона (табл. 4.20).

Таблиця 4.20

Чутливість тест-культур до внесення осаду стічних вод у дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої

Варіант	Редиска (<i>Raphanus sativus</i>)			
	довжина кореня		висота пагона	
	min – max, см	Коефіцієнт варіації, %	min – max, см	Коефіцієнт варіації, %
1. Без добрив – контроль	0,60 – 0,62	1,41	0,30 – 0,31	0,70
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0,55 – 0,57	1,30	0,27 – 0,29	0,66
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,49 – 0,51	1,16	0,25 – 0,26	0,59
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,47 – 0,49	1,11	0,23 – 0,24	0,54
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,45 – 0,48	1,90	0,22 – 0,24	0,54
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0,43 – 0,45	1,03	0,21 – 0,22	0,50
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0,47 – 0,50	1,14	0,24 – 0,26	0,59
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0,45 – 0,48	1,09	0,23 – 0,25	0,57
НІР _{0,05}	0,02 – 0,03	0,17	0,04 – 0,01	0,02

Проведений аналіз ґрунту свідчить, що рівні пригнічення ростових процесів фітоіндикаторів у тест-варіантах після внесення компостів (варіанти 7 – 8) хоч і коливаються в межах від 32 до 34% для редиски, капусти білоголової та крес-салату, але вони визначають токсичність проб ґрунту на рівні „середній”. У зразках ґрунту, після внесення ОСВ та мінеральних добрив у дозі 40 т/га

фітотоксичний ефект відзначався в межах від 40 до 42%, токсичність проб ґрунту була на рівні «вище середнього» (рис. 4.42).

Слід звернути увагу, що у випадку внесення ОСВ у нормі 20 – 30 т/га та мінеральних добрив (варіант 4 – 5) фітотоксичний ефект коливається в межах 27 – 35 % у всіх тест культурах, а токсичність проб ґрунту не перевищувала середнього рівня [319].

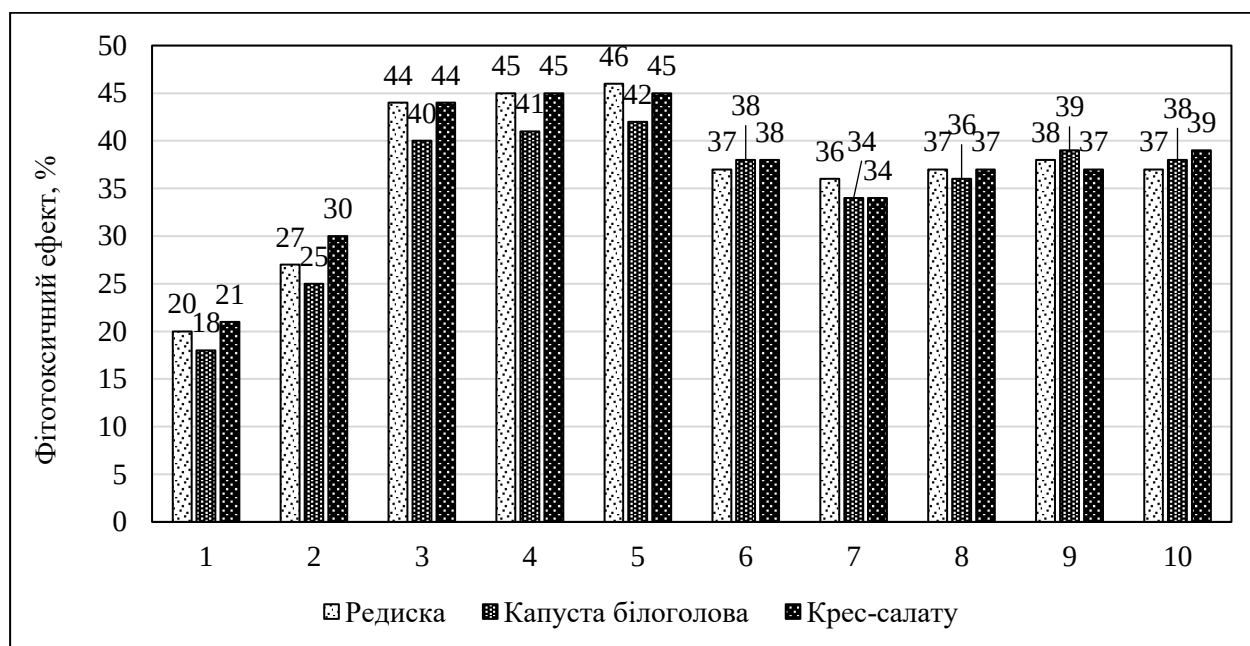


Рис. 4.42. Фітотоксичний ефект дерново-підзолистого ґрунту за внесення осаду стічних вод під сільфію пронизанолисту

Проведений аналіз фітотоксичності ґрунту для випадку вирощування міскантуса свідчить, що рівні пригнічення ростових процесів у фітоіндикаторів, застосованих у тест-варіантах у результаті внесення компостів (варіанти 7 – 8) хоч і коливаються в межах від 31 до 37% для редиски, капусти білоголової та крес-салату, але вони визначають токсичність проб ґрунту на рівні «середній».

У зразках ґрунту, де був внесений ОСВ у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 4 – 5) токсичність ґрунту відзначалася в межах від 25 до 35%, тобто на рівні «середній».

Проте внесення ОСВ у дозі 40 т/га (варіант 6) підвищувала токсичність ґрунту до 40 – 43%, тобто до рівня «вище середнього».

Встановлено високу чутливість до дії ОСВ як забруднювача ґрунту під вирощування світчграсу, про що свідчать рівні пригнічення ростових процесів засіяних тут фітоіндикаторів у тест-варіантах.

Так після внесення компостів (варіанти 7 – 8) коефіцієнт морфологічних показників коливаються в межах від 32 до 37% для редиски, капусти білоголової та крес-салату, і визначають токсичність проб ґрунту на рівні «середній» і з міскантусом аналогічно.

У зразках ґрунту, після внесення ОСВ у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 4 – 5) токсичність ґрунту відзначалася в межах від 24 до 32%, або на рівні «середній».

Проте у зразках ґрунту, за внесення ОСВ у дозі 40 т/га (варіант 6) токсичність ґрунту відзначалася в межах від 42 – 46% – на рівні «вище середнього», що є подібним результатом для всіх інших досліджуваних енергетичних культур (міскантус, світчграс) [317].

Довжина кореня та висота пагона редиски звичайної у дослідному полі топінамбура становила 0,62 – 0,64 см та 0,32 – 0,33 см відповідно. Коефіцієнт варіації морфологічних показників становив близько 1,45% для довжини кореня та 0,75% для висоти пагона. Довжина кореня та висота пагона капусти білоголової становила 3,23 – 3,94 см та 2,431 – 2,42 см відповідно.

Коефіцієнт варіації морфологічних показників у капусті становив близько 8,95% для довжини кореня та 3,36% - для висоти пагона.

Після внесення ОСВ зменшується довжина кореня та висота пагона тест - культури і відповідно зменшується коефіцієнт варіації.

Таким чином наглядно показано токсичний вплив ОСВ на дерново-підзолистий ґрунт (табл. 4.21) [315].

Таблиця 4.21

Чутливість тест-культур до внесення ОСВ у дерново-підзолистий ґрунт за вирощування топінамбура, середні показники за 2020 – 2022 роки

Варіант	Редиска			
	довжина кореня		висота пагона	
	min-max, см	Коефіцієнт варіації, %	min-max, см	Коефіцієнт варіації, %
1. Без внесення добрив – контроль	0,62 – 0,64	1,45	0,32 – 0,33	0,75
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0,60 – 0,62	1,40	0,30 – 0,31	0,70
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,58 – 0,60	1,36	0,29 – 0,31	0,69
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,56 – 0,58	1,32	0,28 – 0,29	0,66
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,52 – 0,54	1,23	0,26 – 0,28	0,64
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0,48 – 0,50	1,14	0,24 – 0,26	0,59
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0,57 – 0,59	1,34	0,29 – 0,31	0,70
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0,55 – 0,57	1,29	0,28 – 0,30	0,68
НІР _{0,05}	0,02	0,15	0,02	0,01

Проведений аналіз ґрунту свідчить, що рівні пригнічення ростових процесів фітоіндикаторів у тест-варіантах у результаті внесення компостів (варіанти 7 – 8) коливаються в межах від 30 до 34% для редиски, капусти білоголової та крес-салату, що визначає токсичність ґрунту на рівні «середній» [305, 314].

Після внесення ОСВ та мінеральних добрив у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 4 – 5) токсичність ґрунту відзначалася в межах від 22 до 34% – на рівні «середній», Проте у зразках ґрунту, у результаті внесення ОСВ у дозі 40 т/га (варіант 6) токсичність ґрунту була вищою і відзначалася в межах 40 – 45%, тобто на рівні «вище середнього». На дослідних ділянках інших енергетичних культур відзначено подібні тенденції (табл. 4.22).

Таблиця 4.22

**Рівні токсичності ділянок дерново-підзолистого ґрунту за внесення ОСВ
під топінамбур, середні значення 2020-2022 роки**

Варіант	Фітотоксичний ефект			Рівень токсичності
	редиска	Капуста білоголова	крес-салат	
1. Без добрив – контроль	13	11	12	Слабкий
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	15	13	14	Слабкий
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	19	20	21	Середній
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	22	25	32	Середній
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	34	30	31	Середній
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	40	45	43	вище середнього
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	32	32	30	Середній
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	34	31	33	Середній
НІР _{0,05}	0,38	0,37	0,38	

Інтенсивність пригнічення ростових процесів фітоіндикаторів для редиски, капусти білоголової та крес-салату визначають токсичність ґрунту на рівні «середній» у випадку внесення компостів, виготовлених на основі ОСВ і «вище середнього» при внесення ОСВ у дозі 40 т/га і мінеральних добрив N₁₀P₁₄K₅₈, тобто коливається в межах 40% фітотоксичного ефекту.

Висновки до розділу 4

В ході досліджень встановлено такі закономірності щодо впливу ОСВ та компостів на агроекологічний стан ґрунту:

1. Під впливом внесення ОСВ і компостів змінюється динаміка кислотно-основних властивостей ґрунту, а саме знижується вміст обмінного водню і показник гідролітичної кислотності в орному (0 – 20 см) і підорному (20 – 40)

шарах, підвищується вміст катіонів кальцію та магнію та зростає співвідношення між кальцієм та магнієм.

2. Від впливом застосування ОСВ зростає вміст гумусу у ґрунті з 1,27% у контрольному варіанті – 1,37 – 1,43% у варіантах з найвищими дозами внесення ОСВ; підвищення дози ОСВ зумовлює збільшення частки пасивного гумусу, яка зростає 1,4% у контрольному варіанті до 1,19 – 1,21%, у підорному шарі (20 – 40 см) частка стабільних сполук гумусу дещо знижувалася в абсолютних відсотках, але переважала частку лабільних сполук; у гумусі дерново-підзолистого ґрунту гуматно-фульватного типу у разі внесення ОСВ і компостів зростає частка гумінових кислот в гумусі до 0,28 – 0,36% з одночасним зменшенням частки фульвокислот $C_{гк} : C_{фк}$ змінювалось в межах 0,7 – 0,9%, однак в гумусі підорного шару частка гумінових кислот знижується.

3. Внесення ОСВ сприяє покращанню азотного фонду дерново-підзолистого ґрунту, зокрема зумовлює підвищення вмісту різних фракцій азоту, наприклад амонійного з 16 до 20 – 22 мг/кг ґрунту у верхньому шарі (0 – 20 см) ґрунту, нітратних сполук азоту в шарі глибиною 0 – 40 см з 1,70 до 2,52 – 2,64 мг/кг ґрунту. Ця тенденція позитивно відображається на зростанні вмісту азоту лужногідролізованих сполук – від 36,0 до 43,0 – 44,4 мг/кг ґрунту.

4. Внесення 40 т/га ОСВ з відповідною кількістю мінеральних добрив ($N_{10}P_{14}K_{58}$) зумовлює найвищі показники вмісту мінеральних сполук азоту – в межах 22,2 мг/кг ґрунту. Відношення вмісту лужногідролізованих сполук азоту до вмісту азоту мінеральних сполук в умовах дослідів змінюється несуттєво, що опосередковано свідчить про відносно стабільний показник азотного статусу ґрунту, який незначно змінюється під впливом добрив.

5. Застосування ОСВ як добрива суттєво впливає на зміну вмісту в ґрунті рухомих сполук фосфору та обмінних сполук калію, найвищий уміст рухомих сполук фосфору 186,5 мг/кг ґрунту у верхньому (0 – 20 см) шарі відзначали у разі внесення 40 – 60 т/га ОСВ з відповідною кількістю мінеральних добрив, що на 70 – 85 мг/кг ґрунту переважало показники контрольного варіанта, вміст

обмінних сполук калію також зростає у значних межах – з 36,5 мг/кг у контрольному варіанті до 110 – 120 мг/кг ґрунту у варіантах з найвищою дозою внесення ОСВ.

До глибини 40 см вміст вказаних макроелементів суттєво зростає за внесення добрив з ОСВ. Проте з глибини 60 см їх вміст різко зменшується і наближається до початкових значень контрольного варіанта. Для калію різке падіння вмісту його рухомих сполук відбувається з глибини 40 см, хоча у верхніх шарах ґрунту (0 – 40 см) цей показник перевищує контрольний варіант у 2,0 – 2,3 рази.

6. Повторне внесення ОСВ під вербу енергетичну сприяє активізації біологічної активності дерново-підзолистого ґрунту. Найбільший позитивний вплив на біологічну активність ґрунту (71% розкладання лляного полотна за три місяці вегетації верби) забезпечила доза 60 т/га компостів на основі ОСВ і соломи, а найвищим ступенем розкладання лляної тканини відзначається верхній (0 – 20 см) шар ґрунту у всіх варіантах дослідів. Повторне внесення мінеральних добрив за вирощування верби енергетичної істотно не впливає на показники біологічної активності ґрунту;

7. Внесення ОСВ під енергетичні культури (світчграс, міскантус, сільфію пронизанолисту та топінамбур) зумовлює активізацію біологічної активності дерново-підзолистого ґрунту. Найбільший позитивний вплив на біологічну активність ґрунту (60 – 64% розкладання лляного полотна за три місяці вегетації) забезпечує внесення ОСВ та мінеральних добрив у дозі 40 т/га, а найвищим ступенем розкладу лляної тканини відзначався верхній (0 – 20 см) шар ґрунту. Внесення мінеральних добрив істотно не впливає на показники біологічної активності.

Спостерігається зростання під впливом ОСВ фітотоксичного ефекту до рівня «вище середнього». Основні наукові результати розділу опубліковані авторкою у працях [95, 96, 304, 312].

РОЗДІЛ 5

МІГРАЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ

5.1 Вміст важких металів і токсичних сполук у ґрунті

Утилізація відходів комунального господарства, зокрема осаду стічних вод, була і залишається однією з важливих екологічних проблем глобального характеру. З іншого боку, застосування осаду стічних вод як добрив у сільському господарстві має певні перспективи, з огляду на значну кількість елементів мінерального живлення в своєму складі та багатий уміст органічних сполук.

Внесення осаду стічних вод можливе, насамперед, під непродуктивної культури, що запобігає можливому потраплянню забруднюючих сполук і патогенних мікроорганізмів у трофічні ланцюги живлення.

Використання ОСВ пов'язане з певними екологічними ризиками, які стосуються можливості включення важких металів у трофічні ланцюги живлення. Тому ризики і рівні забруднення важкими металами ґрунтів, у які вносять ОСВ потребують постійного моніторингу та, за необхідності, здійснення заходів з біоремедіації. Для біоремедіації забруднених важкими металами ґрунтів розробляють різного роду стратегії з різним ступенем ефективності. Як ключовий елемент біоремедіації розглядають вирощування на таких ґрунтах різних видів дикоростучих і культурних рослин, які відзначаються різним ступенем фітоаккумуляції важких металів у різних частинах вегетативної маси. Тому перед вирощуванням різних видів рослин важливо оцінити їхній фітоаккумулятивний ефект та можливості їх використання для біоремедіації територій, які піддалися техногенному, агрохімічному та іншим видам забруднень, а також встановити закономірності нагромадження, (біотранслокації) важких металів у ланці «ґрунт – рослина», в тому числі й за внесення ОСВ у ґрунт [315].

Перспективними у цьому відношенні є енергетичні культури, які набувають поширення в Україні і світі. В середньо- і довготерміновій перспективі зацікавленість енергетичними культурами, зокрема вербою енергетичною, тільки зростатиме.

Дослідження, проведені на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття, ставили за мету вивчити вплив застосування компостів на основі ОСВ на продуктивність агрофітоценозу вище зазначених рослин та на зміну екологічного стану ґрунтової системи [305].

Дослідженнями визначено певні закономірності зміни вмісту та їх перерозподілу окремих хімічних елементів у ґрунті під впливом застосування ОСВ та компостів на його основі (табл. 5.1).

Таблиця 5.1.

Масова частка окремих хімічних елементів у дерново - підзолистих ґрунтах на глибині 0 – 20 см після повторного внесення добрив на основі ОСВ, % (2016 – 2022 рр.)

Х. е.	Варіант досліджу										НІР 0,05
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Fe	0,18	0,22	0,29	0,34	0,42	0,27	0,30	0,36	0,38	0,43	0,02
Co	0,28	0,31	0,33	0,34	0,39	0,51	0,33	0,37	0,41	0,46	0,01
Zn	0,43	0,45	0,51	0,69	0,99	0,88	0,54	0,66	0,68	0,72	0,03
Sr	0,16	0,16	0,18	0,18	0,21	0,19	0,17	0,19	0,20	0,20	0,01
Cd	34	36	37	39	44	52	38	41	47	50	2,00
Nb*	11	11	13	16	21	20	15	19	19	22	1,26
As*	8	8	10	15	23	21	19	18	18	20	1,02
Ni*	31	33	32	37	54	50	34	43	49	58	2,21
Cu*	67	68	68	73	78	79	68	71	75	78	3,21
Rb*	76	79	78	81	89	87	77	83	84	90	3,81
Y*	31	33	32	39	44	40	37	39	40	46	1,37
Mo*	34	37	36	38	45	41	37	38	42	40	1,53
Pb*	82	84	85	90	98	97	90	88	93	90	4,67

Примітка * - $\cdot 10^{-6}$

Згідно проведених експериментальних досліджень встановлено певний вплив від внесення ОСВ відповідно різних схем на особливості нагромадження

окремих важких металів у рослини верби енергетичної. Застосування зростаючих доз ОСВ та його компостів з тирсою і соломою зумовлювало достовірне підвищення вмісту Fe, Zn, Nb, As, Ni, Cu, Y, Mo, Pb порівняно з контрольним варіантом та внесенням мінеральних добрив. Підвищення вмісту Ni в ґрунті під впливом внесення ОСВ було достовірним тільки порівняно з контрольним варіантом.

Порівняння показників умісту хімічних елементів у ґрунті під впливом ОСВ і його компостів з іншими органічними матеріалами (варіанти 6 – 10) вказує на достовірне підвищення умісту As, Mo і Pb. Для інших елементів такої чіткої тенденції не встановлено.

Коефіцієнти концентрації важких металів визначали за зміною їх вмісту у дослідному зразку ґрунту відносно вмісту у фоновому зразку ґрунту – у контрольному варіанті) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2.

**Коефіцієнти концентрації окремих хімічних елементів в дерново -
підзолистих ґрунтах, $\% \cdot 10^{-6}$ (середні значення 2016 – 2022 рр.)**

Хімічний елемент	Варіант дослідю									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fe	1,22	1,61	1,88	2,33	1,51	1,66	2,01	2,11	2,38	1,22
Co	1,11	1,17	1,21	1,39	1,82	1,18	1,32	1,46	1,64	1,11
Zn	1,05	1,19	1,60	2,30	2,05	1,25	1,53	1,58	1,67	1,05
Sr	1,00	1,12	1,12	1,31	1,19	1,06	1,18	1,25	1,25	1,01
Cd	1,058	1,089	1,15	1,29	1,53	1,11	1,21	1,38	1,47	1,06
Nb*	1,00	1,18	1,45	1,91	1,81	1,36	1,72	1,73	2,01	1,01
As*	1,01	1,25	1,87	2,87	2,62	2,37	2,25	2,25	2,25	1,01
Ni*	1,06	1,03	1,19	1,74	1,61	1,09	1,38	1,58	1,87	1,06
Cu*	1,01	1,01	1,09	1,16	1,17	1,01	1,05	1,12	1,16	1,01
Rb*	1,04	1,03	1,06	1,17	1,14	1,01	1,09	1,11	1,18	1,04
Y*	1,06	1,03	1,25	1,42	1,29	1,19	1,26	1,29	1,48	1,06
Mo*	1,08	1,06	1,11	1,32	1,21	1,08	1,12	1,24	1,18	1,09
Pb*	1,02	1,04	1,09	1,19	1,18	1,09	1,07	1,13	1,09	1,02

Величина коефіцієнта концентрації свідчить про активність процесів накопичення важких металів у ґрунті. У різних варіантах дослідження порядок зростання показників коефіцієнтів концентрації змінювався значною мірою.

Рухомість важких металів – показник, який дає змогу судити про можливість перетворення важких металів із міцнозв'язаних форм у доступні для рослин рухомі форми.

Максимальний коефіцієнт рухомості в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної відзначено для кадмію – 0,35, що спостерігається у випадку внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і 60 т/га (рис. 5.1).

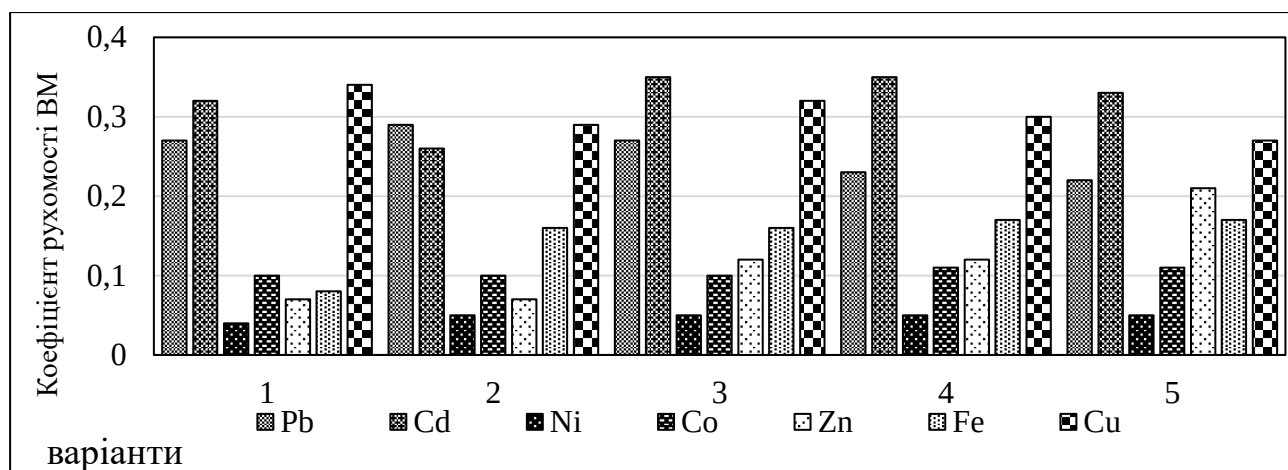


Рис. 5.1. Коефіцієнти рухомості важких металів в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Примітка:

1. Без внесення добрив (контроль)

2. N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀

3. ОСВ – 40 т/га

4. ОСВ – 60 т/га

5. ОСВ – 80 т/га

$$y = -0,01x + 0,304,$$

y – коефіцієнти рухомості Pb в дерново-підзолистому ґрунті на ділянках вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ;

x – варіанти досліджень за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати високою, оскільки коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,7273$, а коефіцієнт кореляції $r=0,76$

$$y = 0,002x + 0,042,$$

де y – коефіцієнти рухомості Ni в дерново-підзолистому ґрунті на ділянках вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ;

x – варіанти досліджень за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати помірна, оскільки коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,56$, а коефіцієнт кореляції $r=0,57$

$$y = 0,033x + 0,095,$$

де y – коефіцієнти рухомості Co в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ;

x – варіанти досліджень за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати високою, оскільки коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,76$, а коефіцієнт кореляції $r=0,78$

$$y = 0,003x + 0,019,$$

де y – коефіцієнти рухомості Zn в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ;

x – варіанти досліджень для випадку вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати високою, оскільки коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,84$ а коефіцієнт кореляції $r=0,88$

$$y = 0,019x + 0,091,$$

де y – коефіцієнти рухомості Fe в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ;

x – варіанти досліджень за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ;

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати помірною, оскільки коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,62$, а коефіцієнт кореляції $r=0,64$

$$y = -0,013x + 0,343,$$

де y – коефіцієнти рухомості Cu в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ;

x – варіанти досліджень за вирощування верби енергетичної після повторного внесення ОСВ.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати помірною, оскільки коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,58$, а коефіцієнт кореляції $r=0,60$

Для цинку максимальне значення переходу важких металів з міцнозв'язаних у рухому форму спостерігали у випадку внесення у ґрунт ОСВ у дозі 80 т/га, купрум – у контрольному варіанті. Найвищий коефіцієнт рухомості плюмбуму спостерігається у разі внесення у ґрунт добрива $N_{100}P_{100}K_{100}$, а також у випадку внесення компосту у дозі 40 т/га.

Нікель характеризується найменшим значенням коефіцієнта рухомості на рівні 0,04 – 0,06, а кобальт – на рівні 0,10 – 0,11. Коефіцієнти рухомості металів у ґрунті на ділянках вирощування верби енергетичної зростають у ряді: нікель → кобальт → цинк → ферум → плюмбум → купрум → кадмій. Показник кадмію коливався в межах 0,27 – 0,34, варто зауважити що цей показник тільки для варіантів із внесенням компостів на основі ОСВ та органічного наповнення, і тут чітко показано підвищення відносно контрольного варіанта на 0,06 – 0,07 (рис. 5.2)

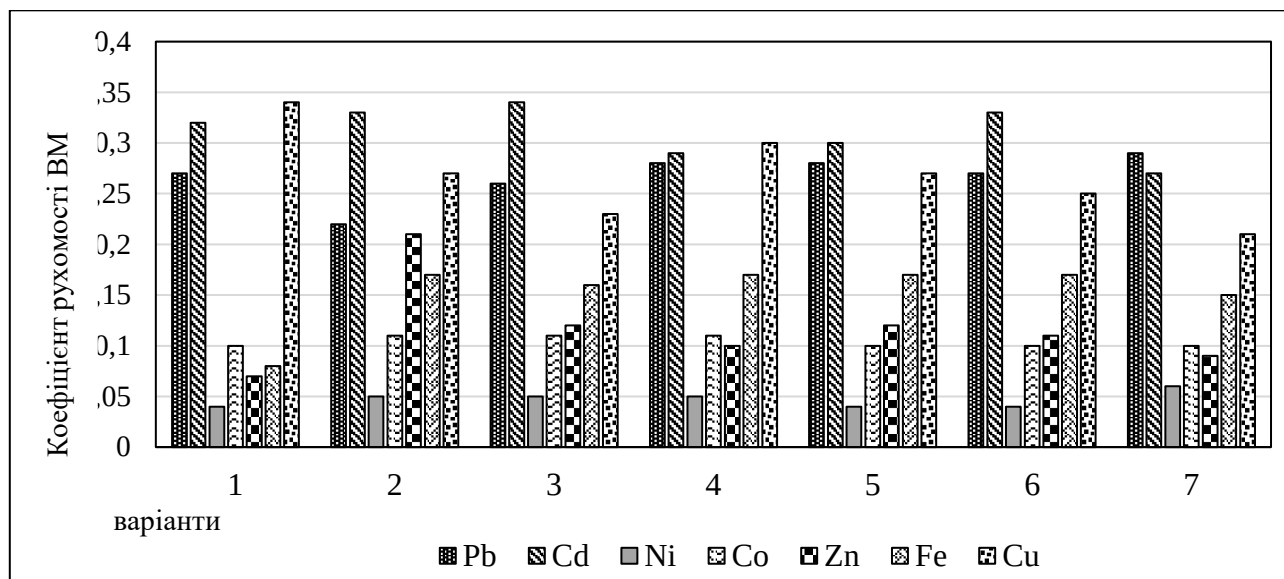


Рис. 5.2. Коефіцієнти рухомості ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної після повторного внесення компостів на основі ОСВ, середні показники за 2016 – 2022 рр.

Примітка:

1. Без добрив (контроль)
2. $N_{100}P_{100}K_{100}$
3. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га
4. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га

5. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га
6. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) + цементний пил 10 %) – 40 т/га

Після повторного внесення ОСВ у дозі 40 – 80 т/га показник коефіцієнта концентрації міцнозв'язаних форми ВМ змінювався відповідно до доз внесення добрива і становив 1,22 – 1,56 для Pb; 1,36 – 1,66 для Cd; 1,07 – 1,16 для Ni; 1,05 – 1,11 для Co; 1,01 – 1,05 для Cu; 1,05 – 1,3 для Fe; 1,05 – 1,07 для Zn відповідно ці показники перевищували варіант 2 де вносили мінеральні добрива.

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті на ділянках вирощування верби енергетичної після внесення ОСВ зростають у ряді: купрум → кобальт → цинк → нікель → ферум → плумбум → кадмій (рис. 5.3).

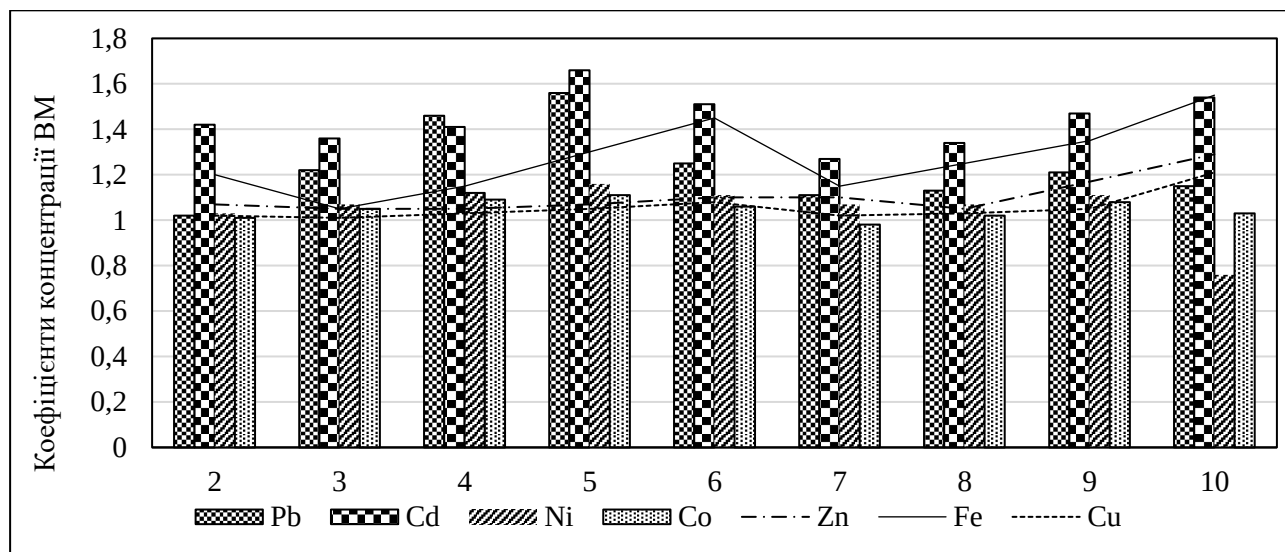


Рис. 5.3 Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм ВМ у дерново-підзолистому ґрунті за вирощування верби енергетичної після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Максимальна кількість усіх форм важких металів присутня у ґрунтах під плантацією сільфії пронизанолистої після внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га. Виняток становлять рухомі форми феруму і купруму, максимальна концентрація яких відзначена у ґрунті після внесення ОСВ у кількості 30 т/га і добрива $N_{30}P_{33}K_{66}$, та міцнозв'язані форми купруму, при цьому найбільша концентрація відзначена у випадку внесення компосту ґрунту у дозі 30 т/га і внесення добрива $N_{30}K_{55}$, міцнозв'язані форми феруму, максимальний вміст яких відзначено за внесення добрива $N_{90}P_{90}K_{90}$.

Мінімальний вміст міцнозв'язаних форм плюмбуму, кадмію, нікелю, кобальту встановлено у ґрунті після внесення добрива у дозі $N_{60}P_{60}K_{60}$, а також нікелю і феруму у ґрунті після внесення компосту у дозі 20 т/га та $N_{50}P_{16}K_{67}$. Найменші концентрації міцнозв'язаних форм цинку, феруму і купруму встановлені у контрольному варіанті дослідів. Найменший вміст рухомих форм кадмію, нікелю, кобальту, цинку і феруму, а також міцнозв'язаної форми цинку встановлено у ґрунті за внесення добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$, а плюмбуму – у ґрунті після внесення у нього ОСВ у нормі 20 т/га та $N_{50}P_{52}K_{74}$ (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

**Вміст рухомих форм ВМ у дерново-підзолистому ґрунті за вирощування
сильфії пронизанолистої після внесення ОСВ,
середні показники за 2016 – 2022 рр. [306].**

Варіант	Рухома форма, мг/кг ґрунту						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
1	3,92	0,21	1,22	2,40	1,50	5,00	6,27
2	4,10	0,26	1,27	2,43	1,68	12,50	6,45
3	4,39	0,39	1,35	2,47	3,61	12,72	6,34
4	4,00	0,34	1,41	2,53	4,02	13,53	6,52
5	4,21	0,45	1,49	2,59	7,89	13,99	6,65
6	4,54	0,55	1,53	2,63	4,22	13,50	6,33
7	4,15	0,29	1,37	2,46	3,21	13,11	6,33
8	4,48	0,43	1,46	2,55	3,71	13,45	6,22
ГДК	6,00	0,70	4,00	5,00	23,00	-	3,00

Найменший вміст рухомих форм кадмію, нікелю, кобальту, цинку і феруму, а також міцнозв'язані форми цинку встановлено у ґрунті за внесення добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$, а плумбуму – у ґрунті після внесення у нього ОСВ у дозі 20 т/га та $N_{50}P_{52}K_{74}$.

Не виявлено перевищення ГДК у ґрунтах під плантацією сильфії пронизанолистої міцнозв'язаних та рухомих форм важких металів за винятком рухомої форми купруму у всіх варіантах дослідів (табл. 5.4) [311].

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах на ділянках вирощування сильфії пронизанолистої зростає у ряді: кадмій → нікель → кобальт → цинк → плумбум → купрум → ферум. Вміст міцнозв'язаних форм важких металів у

грунтах під плантацією сільфії пронизанолистої зростає у ряді: кадмій → плумбум → купрум → кобальт → нікель → цинк → ферум.

Таблиця 5.4

Вміст міцнозв'язаних форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої після внесення ОСВ, середній показник за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Міцнозв'язана форма ВМ, мг/кг ґрунту						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без внесення добрив (контроль)	12,49	0,64	25,01	21,15	39,00	87,00	18,00
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,96	0,69	26,12	21,80	39,00	89,00	20,00
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	13,54	0,76	26,96	22,15	41,00	90,00	22,00
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	13,96	0,71	26,58	22,10	40,00	88,00	21,00
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	14,54	0,80	27,23	22,96	43,00	89,00	22,00
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	14,98	0,84	27,96	23,15	45,00	90,00	24,00
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	13,58	0,73	26,12	22,37	41,00	87,00	23,00
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	14,36	0,80	26,95	23,00	41,00	88,00	26,00
ГДК	30,0	3,0	85,0	50,0	300,0	-	100,0

Графічне відображення вмісту міцнозв'язаних форм важких металів у дерново-підзолистому ґрунті у випадку вирощування сільфії пронизанолистої після внесення осаду стічних вод. Найвища рухомість кадмію в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої спостерігається після внесення ОСВ у нормі 40 т/га і добрива N₁₀P₁₄K₅₈, максимальні коефіцієнти рухомості плумбуму зафіксовані після внесення добрив N₆₀P₆₀K₆₀ та N₉₀P₉₀K₉₀, купруму – у контрольному варіанті дослід, цинку і феруму – після внесення у

грунт ОСВ у дозі 30 т/га і добрива $N_{30}P_{33}K_{66}$. Нікель та кобальт проявляють стабільність показників рухомості у всіх варіантах досліді (рис. 5.4).

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах за вирощування сільфії пронизанолистої зростає у ряді: кадмій → нікель → кобальт → цинк → плумбум → купрум → ферум. Вміст міцнозв'язаних форм важких металів у ґрунтах під плантацією сільфії зростає у ряді: кадмій → плумбум → купрум → кобальт → нікель → цинк → ферум.

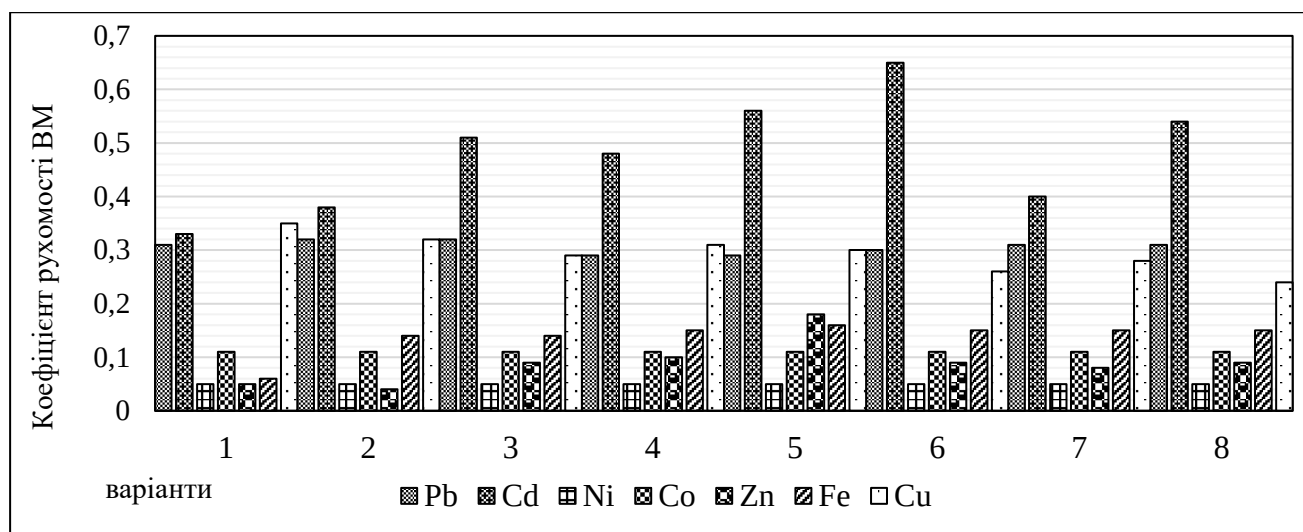


Рис. 5.4 Коефіцієнти рухомості ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Дослідженнями визначені певні закономірності зміни вмісту окремих важких металів у ґрунті, коренях та вегетативній масі міскантуса під впливом застосування ОСВ, компостів на його основі та соломи зернових культур (табл. 5.5) [312, 314].

Внесення ОСВ по різному впливає на динаміку нагромадження міцнозв'язаних і рухомих форм важких металів у дерново-підзолистому ґрунті. Застосування ОСВ у помірних дозах 20 – 40 т/га та компостів 20 – 30 т/га зумовлювало значне підвищення вмісту у ґрунті усіх досліджуваних важких металів. Однак, їх уміст був у межах гранично допустимих концентрацій.

Найвища доза внесення (варіант 6) зумовлювала найвищі в умовах дослідження показники умісту міцнозв'язаних і рухомих форм Pb, Ni, Co, тільки міцнозв'язаних форм Cd, рухомих форм Zn. У всіх випадках найвищі показники достовірно переважали показники інших варіантів.

Варіанти, які виділяються за величиною коефіцієнта рухомості є 5 та 6, де спостерігається найвищий коефіцієнт для Co (кобальту) – 0,56 та 0,65 відповідно. Окрім того, варто відзначити, що коефіцієнти рухомості для Fe і Cu залишаються відносно стабільними в усіх варіантах.

Таблиця 5.5.

Вміст міцнозв'язаних і рухомих форм окремих хімічних елементів на глибині 0 – 30 см після внесення добрив (середнє за 2016 – 2022 рр.)

Х.е.	Варіанти внесення добрив									
	Форма ВМ	1	2	3	4	5	6	7	8	ГДК
Pb	a*	12,46	12,53	12,67	12,62	12,81	13,47	12,92	13,01	0,50
	b**	3,05	3,21	3,84	3,79	3,96	4,3	3,48	3,9	0,04
Cd	a	0,67	0,73	0,96	0,84	0,89	0,98	0,82	0,94	0,04
	b	0,19	0,32	0,57	0,39	0,39	0,41	0,35	0,4	0,01
Ni	a	25,42	25,55	26,12	25,76	26,98	27,95	25,61	26,34	1,25
	b	1,21	1,39	1,47	1,42	1,51	1,63	1,49	1,54	0,04
Co	a	20,11	20,37	20,96	20,65	21,15	22,21	20,95	21,32	0,95
	b	2,37	2,43	2,54	2,49	2,58	2,71	2,56	2,61	0,04
Zn	a	44,00	46,00	47,00	44,00	45,00	47,00	49,00	53,00	2,30
	b	1,2	1,38	3,31	3,72	3,79	3,92	2,91	3,41	0,10
Cu	a	22,00	24,00	25,00	23,00	27,00	29,00	34,00	37,00	1,30
	b	5,87	6,05	5,94	6,12	6,09	5,93	5,94	5,82	0,01

*a – міцнозв'язана форма важких металів, **b – рухома форма важких металів

Частка рухомих форм від міцнозв'язаних вмісту окремих важких металів коливалася в порівняно широкому діапазоні значень для Pb, Cd, Zn. Натомість Ni у варіантах з внесенням ОСВ частка рухомих форм коливалася в межах 5,4 – 5,8%, крім контрольного варіанта – 4,8%.

Нами також відзначено певне зниження частки рухомих форм Cd з 59% у варіанті 3, де вносили тільки мінеральні добрива (варіант 3) до 42 – 46% у варіантах з внесенням ОСВ (варіанти 4, 5, 6). Причому збільшення дози внесення ОСВ зумовлювало зниження частки рухомих форм Cd у міцнозв'язаному їх умісті. Частка рухомих форм Co у ґрунті коливалася в межах 11,8 – 12,2% і практично не залежала від дози ОСВ і форми, у якій його вносили. Суттєве зниження частки рухомих форм Cu порівняно з контролем зафіксовано у варіантах із внесенням усіх видів добрив. Найбільше зниження частки рухомих форм визначено у варіантах 7 і 8, де вносили компости на основі ОСВ і соломи зернових культур.

Таким чином, застосування ОСВ неоднозначно впливає на нагромадження міцнозв'язаних і рухомих форм важких металів у ґрунті та їх доступність рослинам. Підвищення дози ОСВ до значення 40 т/га зумовлює найвищі показники в ґрунті міцнозв'язаних форм Pb, Cd, Ni, Co, однак це зростання у 2,2 – 3,1 рази нижче гранично допустимих концентрацій.

Для оцінки можливостей трансформації важких металів із міцнозв'язаних форм у доступні для засвоєння рослинами рухомі форми визначали коефіцієнти рухомості (рис. 5.5).

Найвищі показники рухомості Pb і Zn спостерігали після внесення ОСВ у найвищій нормі (варіант 6).

Однак, для Pb цей показник у всіх варіантах з добривами коливався в межах 0,26 – 0,32, тобто порівняно в незначних межах, а для Zn зростав більш, ніж у 2,6 рази. Для Cd також характерне значне коливання коефіцієнта рухомості в межах 0,26 – 0,56 [312, 315, 318].

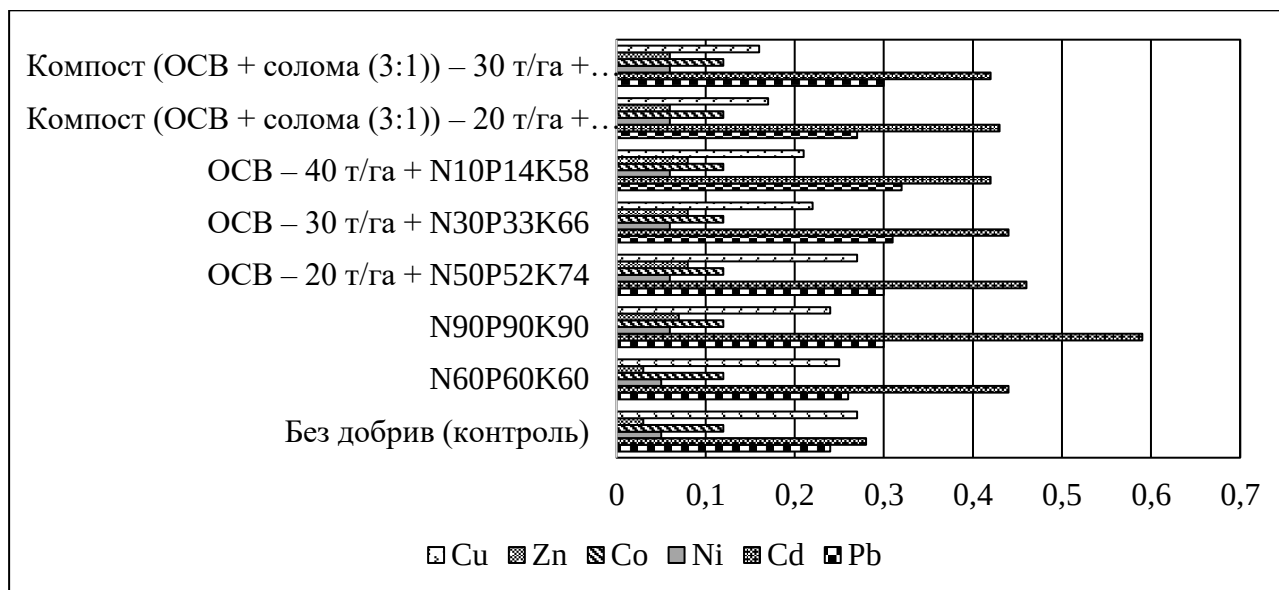


Рис. 5.5. Коефіцієнти рухомості важких металів у дерново-підзолистому ґрунті на ділянках вирощування міскантуса після внесення ОСВ, середні значення за 2018 – 2022 рр.

Найнижчий показник спостерігали у контрольному варіанті, а найвищий – у варіанті 3 з внесенням тільки мінеральних добрив (варіант 3). Варіанти 4, 5, 6, де вносили ОСВ, відзначалися середніми значеннями показника рухомості (0,42 – 0,44). Причому зі зростанням норми внесення ОСВ рухомість Cd знижувалася. Зниження коефіцієнта рухомості Cu відзначали також у випадку внесення зростаючих норм ОСВ. Рухомість Ni і Co відзначалася стабільними показниками.

Коефіцієнти концентрації важких металів визначали за зміною їх вмісту у дослідному зразку ґрунту відносно вмісту у фоновому зразку ґрунту – у контрольному варіанті) (табл. 5.6).

Величина коефіцієнта концентрації свідчить про активність процесів накопичення важких металів у ґрунті. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів у підзолистому ґрунті у випадку внесення найвищої дози осаду стічних вод під міскантус зростають у ряді $Co \rightarrow Pb \rightarrow Ni \rightarrow Zn \rightarrow Cu \rightarrow Cd$.

Таблиця 5.6.

**Коефіцієнти концентрації ВМ у дерново-підзолистому ґрунті після ОСВ
внесення під міскантус**

Х. Е.		Варіант дослідю						
		2	3	4	5	6	7	8
Pb	<i>a</i> *	1,00	1,02	1,03	1,03	1,08	1,03	1,04
	<i>b</i> **	1,05	1,26	1,24	1,30	1,41	1,04	1,28
Cd	<i>a</i>	1,09	1,43	1,46	1,44	1,47	1,22	1,40
	<i>b</i>	1,68	1,98	2,05	2,05	2,16	1,84	2,11
Ni	<i>a</i>	1,00	1,03	1,04	1,06	1,09	1,01	1,06
	<i>b</i>	1,15	1,21	1,17	1,25	1,35	1,23	1,27
Co	<i>a</i>	1,01	1,03	1,04	1,04	1,05	1,03	1,04
	<i>b</i>	1,03	1,07	1,05	1,09	1,14	1,08	1,10
Zn	<i>a</i>	1,04	1,07	1,07	1,08	1,09	1,06	1,07
	<i>b</i>	1,15	2,76	3,11	3,16	3,27	2,43	2,85
Cu	<i>a</i>	1,09	1,10	1,13	1,20	1,31	1,22	1,26
	<i>b</i>	1,03	1,01	1,04	1,04	1,02	1,02	0,99

** – міцнозв'язана форма важких металів, ** - рухома форма важких металів*

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів зростають у ряді:
Cu → Co → Ni → Pb → Cd → Zn.

У різних варіантах дослідю порядок зростання показників коефіцієнтів концентрації змінювався значною мірою (табл. 5.7).

Вміст міцнозв'язаних форм важких металів у ґрунтах під плантацією топіамбура зростає у ряді: кадмій → свинець → кобальт → нікель → купрум → цинк → ферум.

Таблиця 5.7

**Вміст міцнозв'язаних форм ВМ у дерново-підзолистому ґрунті після
внесення ОСВ на ділянку топінамбура, середні показники
за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Міцно зв'язана форма, мг/кг ґрунту						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	12,40	0,61	25,30	20,01	49,00	111,00	27,00
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,59	0,64	25,39	20,22	51,00	114,00	29,00
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	12,82	0,72	25,87	20,45	53,00	117,00	31,00
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	12,93	0,65	25,99	20,33	50,00	112,00	28,00
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	12,97	0,71	26,07	20,47	52,00	116,00	32,00
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	13,08	0,82	26,41	20,53	55,00	119,00	35,00
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	12,89	0,65	25,89	21,31	50,00	115,00	31,00
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	13,93	0,68	26,02	21,45	53,00	117,00	33,00
ГДК	30,0	3,0	85,0	50,0	300,0	-	100,0

Критерій Шапіро-Вілка рівний 0,946. Згідно отриманих показників плумбуму міцнозв'язаної форми із імовірністю 95 відсотків, розподіл є нормальним.

При цьому *p*-рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме, 0,244) тому нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута.

Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова – Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – *p*-рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.5.6).

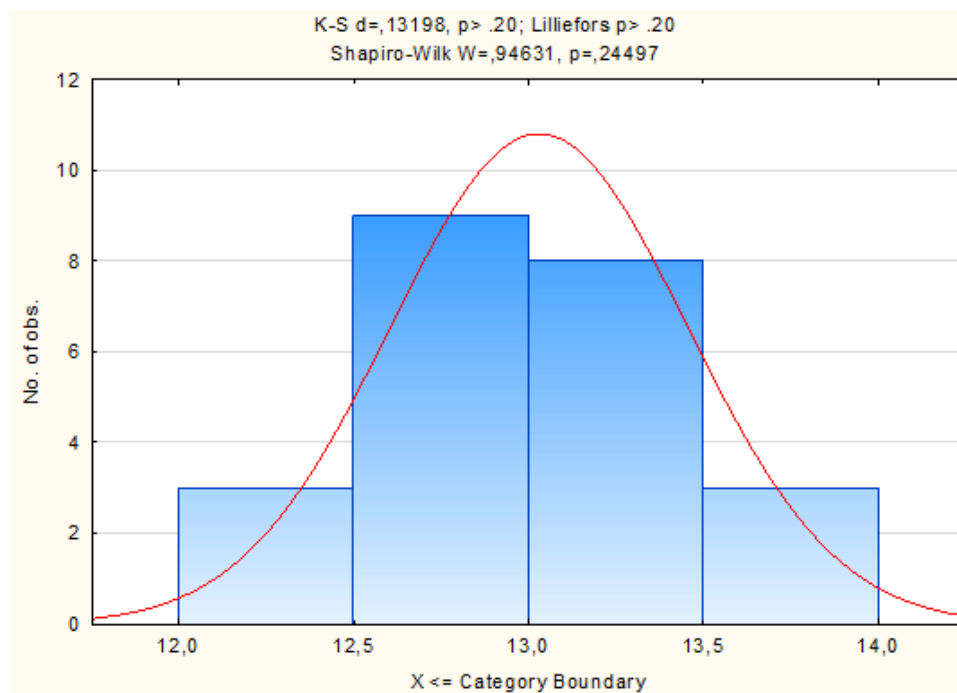


Рис. 5.6. Нормальний розподіл показників плумбуму (Pb) міцнозв'язана форма в ґрунті у випадку вирощування топінамбура

Критерій Шапіро-Вілка рівний 0,969. Згідно отриманих показників кадмію міцнозв'язаної форми за вирощування топінамбура, із імовірністю 97 відсотків, розподіл являється нормальним.

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме 0,665) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова – Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.5.7).

Найвищий вміст рухомих форм цинку, феруму і купруму відзначено у ґрунті після внесення компосту у нормі 30 т/га та добрива $N_{30}P_{33}K_{66}$, а вміст міцнозв'язаних форм плумбуму і кобальту – після внесення компосту у нормі 30 т/га та добрива $N_{30}K_{55}$.

У другому варіанті досліді встановлено найнижчі концентрації міцнозв'язаних та рухомих форм важких металів.

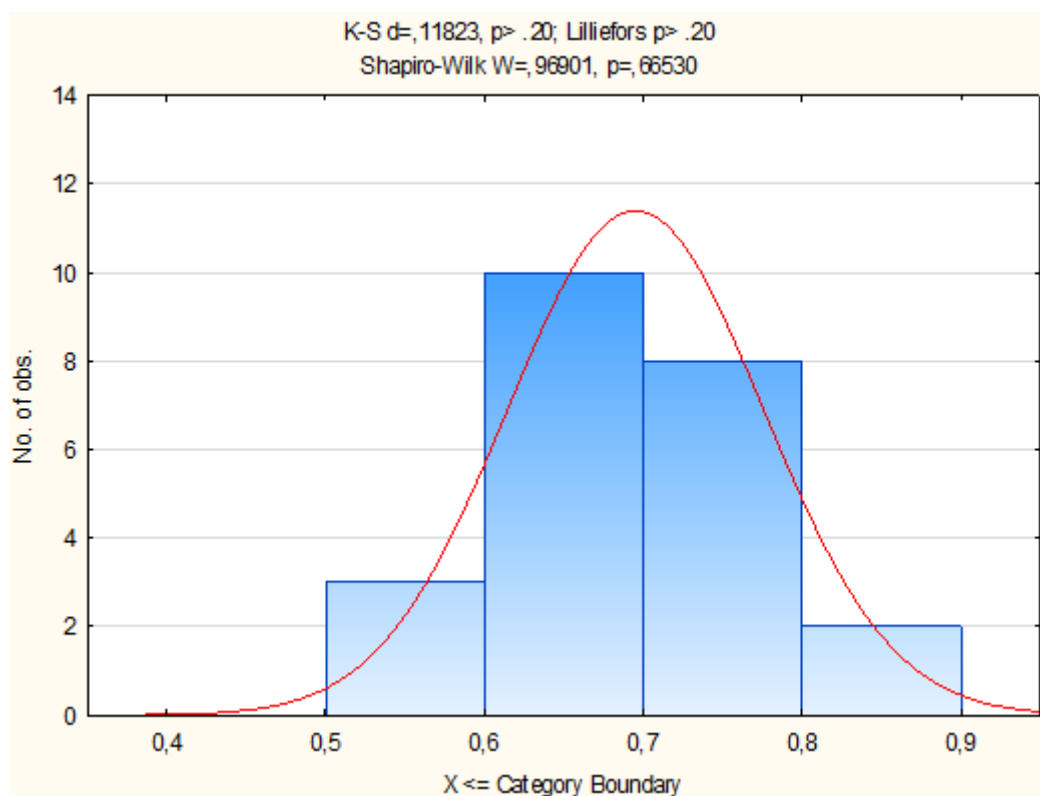


Рис. 5.7. Нормальний розподіл показників кадмію (Cd) міцнозв'язана форма в ґрунті за вирощування топінамбура

Виняток становить рухома форма купруму, концентрація якої найменша у ґрунті за вирощування топінамбура після внесення компосту у нормі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$ становить 6,12 мг/кг ґрунту та є меншою за фонове значення.

Найнижчі концентрації міцнозв'язаних форм цинку, феруму і купруму відзначено у контрольному варіанті досліді.

Відсутнє перевищення ГДК у ґрунтах у всіх варіантах досліді за винятком рухомої форми купруму.

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах за вирощування топінамбура зростає у ряді: кадмій → нікель → кобальт → цинк → плюмбум → купрум → ферум (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

**Вміст рухомих форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування
топінамбура після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.**

	Рухома форма, мг/кг ґрунту						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	3,02	0,17	1,16	2,27	1,68	5,00	6,17
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,21	0,29	1,29	2,39	1,71	12,50	6,35
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	3,45	0,34	1,37	2,47	2,11	12,72	6,24
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	3,32	0,30	1,32	2,43	2,82	13,53	6,42
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	3,43	0,35	1,40	2,50	6,39	13,99	6,55
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	4,54	0,40	1,48	2,63	2,72	13,50	6,23
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	4,40	0,33	1,38	2,40	1,71	13,11	6,12
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	4,47	0,37	1,42	2,51	2,21	13,55	6,12
ГДК	6,00	0,70	4,00	5,00	23,00	-	3,00

У ґрунтах за вирощування міскантуса спостерігали мінімальне забруднення усіма формами важких металів після внесення добрив у пропорції N₆₀P₆₀K₆₀ (табл. 5.9 – 5.10). Виняток становить рухома форма купруму (Cu), найменший вміст якої серед дослідних ґрунтів спостерігається після внесення компосту у нормі 30 т/га та добрива N₃₀K₅₅ [316, 320].

Максимальна концентрація міцнозв'язаної форми нікелю, цинку, купруму відзначена у ґрунті після внесення компосту у дозі 30 т/га та N₃₀K₅₅. Найвищі концентрації рухомих форм цинку, феруму і купруму встановлені у варіанті з внесенням ОСВ у дозі 30 т/га і N₃₀P₃₃K₆₆.

Критерій Шапіро-Вілка рівний 0,938. Згідно отриманих результатів із імовірністю 94 відсотків, розподіл являється нормальним.

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме 0,938) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова – Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.5.8).

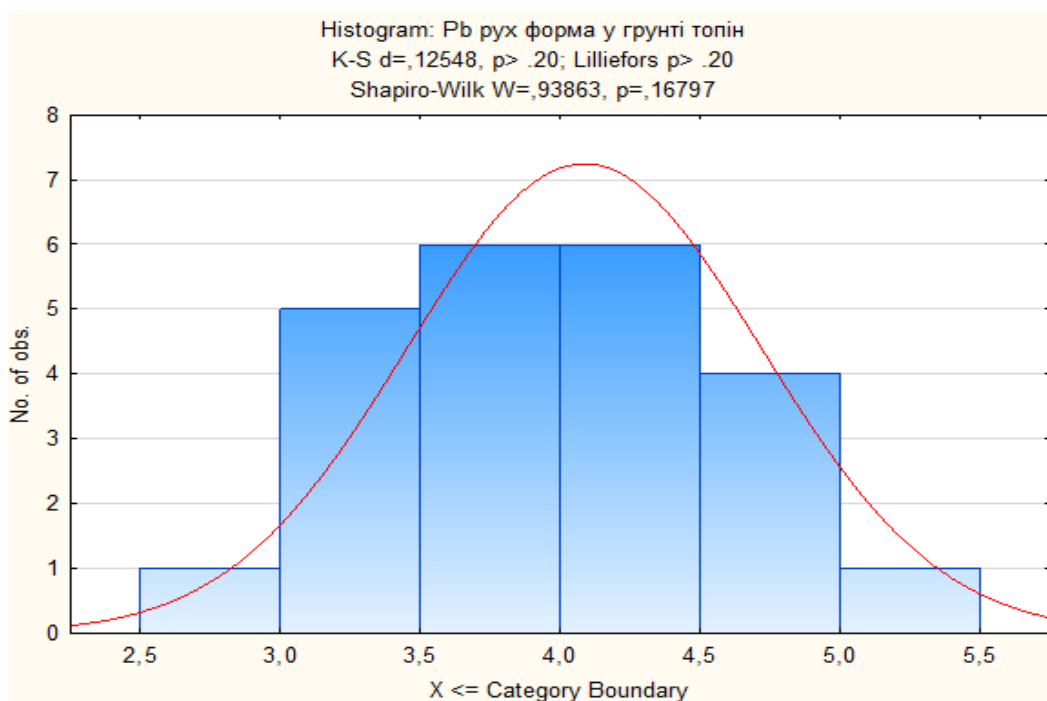


Рис. 5.8. Нормальний розподіл показників плумбуму (Pb) рухома форма в ґрунті за вирощування топіамбура

Критерій Шапіро-Вілکا рівний 0,95. Згідно отриманих результатів із імовірністю 95 відсотків, розподіл являється нормальним [316].

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме 0,33) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута.

Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова – Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.5.9).

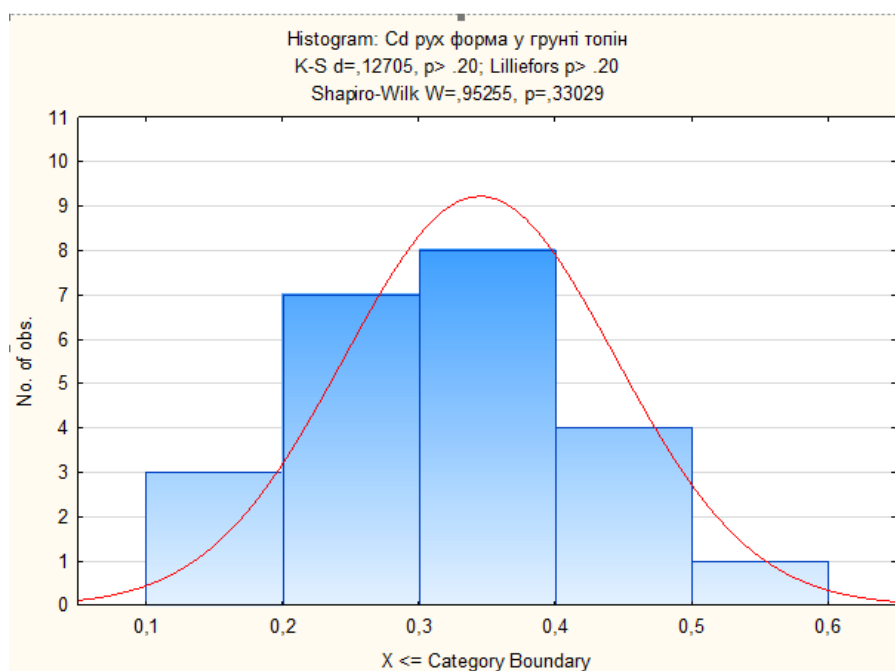


Рис. 5.9. Нормальний розподіл показників кадмію (Cd) рухома форма в ґрунті за вирощування топінамбура

Найменші концентрації міцно зв'язаних форм плюмбуму та рухомих форм кадмію, нікелю, кобальту, цинку, феруму властивий ґрунту за вирощування світчграсу після внесення добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$. Мінімальний вміст міцнозв'язаних форм кадмію, кобальту, нікелю, цинку та рухомої форми плюмбуму зафіксований у ґрунті за внесення ОСВ у нормі 20 т/га та добрива $N_{50}P_{52}K_{74}$ (табл.5.9)

Таблиця 5.9

Середній вміст міцнозв'язаних форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчграсу та міскантуса, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Міцно зв'язана форма, мг/кг ґрунту						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
1	2	3	4	5	6	7	8
Без добрив (контроль)	12,43	0,64	25,37	20,15	45,51	96,01	22,51
$N_{60}P_{60}K_{60}$	12,61	0,725	25,86	21,14	47,02	97,51	23,51

1	2	3	4	5	6	7	8
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	12,79	0,89	26,52	21,57	48,01	100,02	26,01
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	12,72	0,77	25,89	20,83	45,51	96,51	24,03
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	13,14	0,83	26,97	21,95	47,02	99,01	27,52
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	13,74	0,925	27,24	22,52	50,02	99,52	30,02
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	13,46	0,82	26,72	21,65	49,51	98,01	33,51
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	13,58	0,885	27,26	21,90	53,5	98,97	36,51
ГДК	30,00	3,00	85,00	50,00	300,00	-	100,00

На зображенні представлено гістограму з накладеною кривою нормального розподілу (рис.5.10).

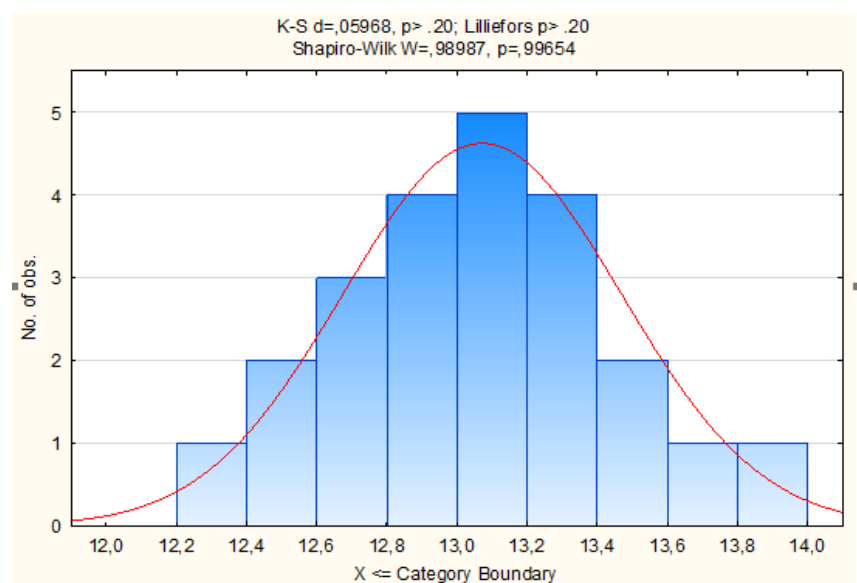


Рис. 5.10. Нормальний розподіл показників кадмію (Pb) міцнозв'язана форма в ґрунті за вирощування трав'янистих культур (світчграс, міскантус, сільфія пронизанолиста)

Гістограма показує розподіл даних по категоріям (або класам), що представлені на горизонтальній осі як « $x = \text{Category Boundary}$ » зі значеннями від 12,0 до 14,0. По вертикальній осі вказано «No. of Obs», що, ймовірно, означає кількість спостережень у кожній категорії.

Крива нормального розподілу, що проходить через верхівки стовпців гістограми, свідчить про те, що дані можуть бути апроксимовані нормальним розподілом. Також на графіку представлені результати статистичних тестів:

Колмогорова-Смирнова (K-S) з d – статистикою 0.05968 і p – значенням $> 0,20$;

Лілієфорса з p -значенням $> 0,20$;

Шапіро – Вілка з W – статистикою 0.98987 і p – значенням 0.99654.

Значення p більше 0.20 для перших двох тестів і високе p -значення для тесту Шапіро-Вілکا вказують на те, що немає підстав відкидати нульову гіпотезу про нормальність розподілу даних.

Критерій Шапіро-Вілка рівний 0,977. Згідно отриманих середніх показників із імовірністю 98 відсотків, розподіл являється нормальним. При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме 0,85) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова – Смирнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 [318].

Критерій Шапіро-Вілка рівний 0,95. Згідно отриманих середніх показників кадмію міцнозв'язаної форми для трав'янистих культур (світчграс, міскантус, сильфія пронизанолиста) із імовірністю 95 відсотків, розподіл являється нормальним.

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме 0,44) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова – Смирнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.5.11).

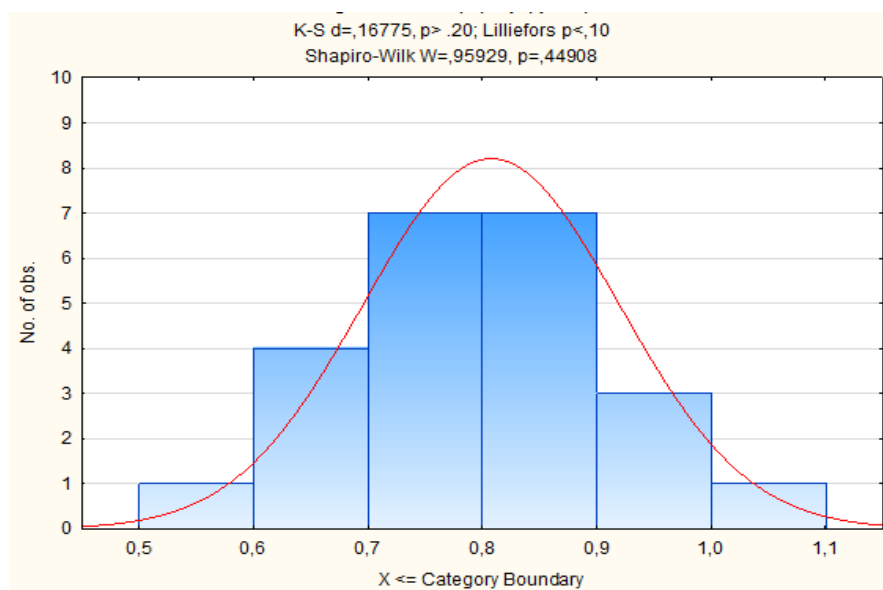


Рис. 5.11. Нормальний розподіл показників кадмію (Cd) міцнозв'язана форма в ґрунті за вирощування трав'янистих культур (світчґрас, міскантус, сільфія пронизанолиста)

Найвищий вміст рухомих форм плюмбуму, нікелю, кобальту та міцно зв'язаних форм плюмбуму, кадмію, нікелю, кобальту встановлено у ґрунті за внесення ОСВ у нормі 40 т/га, за винятком рухомої форми кадмію, найвища концентрація якого встановлена у ґрунті за внесення добрива у співвідношенні $N_{90}P_{90}K_{90}$. Максимальний вміст рухомих форм цинку, феруму і купруму, міцнозв'язаної форми феруму відзначено у ґрунті обробленого ОСВ у нормі 30 т/га і добрива $N_{30}P_{33}K_{66}$. Найвищий вміст міцнозв'язаних форм цинку і купруму встановлено у ґрунті обробленого компостом у нормі 30 т/га і добривом $N_{30}K_{55}$ [320].

Не виявлено перевищення ГДК у ґрунтах за вирощування міскантуса міцнозв'язаних та рухомих форм важких металів. Виняток становить рухома форма купруму, концентрація якої у ґрунтах у всіх варіантах дослідження перевищує ГДК. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах за вирощування міскантуса зростає у ряді: кадмій → нікель → кобальт → цинк → плюмбум → купрум → ферум. Вміст міцнозв'язаних форм важких металів у ґрунтах під плантацією

міскантуса зростає у ряді: кадмій → плумбум → кобальт → нікель → купрум → цинк → ферум [319].

Найвищий вміст міцно зв'язаних форм плумбуму, кадмію, кобальту, феруму, а також рухомих форм плумбуму, кадмію, нікелю, кобальту зафіксовано у ґрунті за вирощування світчграсу за внесення ОСВ у нормі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (табл. 5.10). Для міцнозв'язаної форми феруму встановлено максимальне значення вмісту у ґрунті після обробки добривом $N_{90}P_{90}K_{90}$. [116].

Таблиця 5.10

Середній вміст рухомих форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчграсу міскантуса, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Рухома форма, мг/кг ґрунту						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	3,03	0,18	1,19	2,29	2,21	5,65	6,57
$N_{60}P_{60}K_{60}$	3,25	0,26	1,31	2,35	2,38	8,65	6,75
$N_{90}P_{90}K_{90}$	3,71	0,41	1,42	2,45	4,31	13,37	6,64
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	3,55	0,37	1,38	2,42	4,72	14,18	6,82
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	3,82	0,33	1,45	2,48	8,59	14,64	6,95
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	4,13	0,38	1,55	2,57	4,92	14,15	6,63
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	3,49	0,28	1,41	2,44	3,91	13,76	6,63
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	3,79	0,33	1,46	2,52	4,41	15,07	6,52
ГДК	6,00	0,70	4,00	5,00	23,00	-	3,00

Найменший вміст міцнозв'язаних форм цинку, феруму і купруму відзначено у контрольному варіанті досліді. Вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах під плантацією світчграсу зростає у ряді: кадмій → нікель → кобальт → плумбум → цинк → купрум → ферум [320].

Найменший вміст рухомої форми купруму встановлено у ґрунті за внесення компосту у дозі 30 т/га і внесення добрива $N_{30}K_{55}$.

Критерій Шапіро-Вілка рівний 0,978. Згідно отриманих середніх показників із імовірністю 98 відсотків, розподіл являється нормальним.

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме 0,87) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова – Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.5.12).

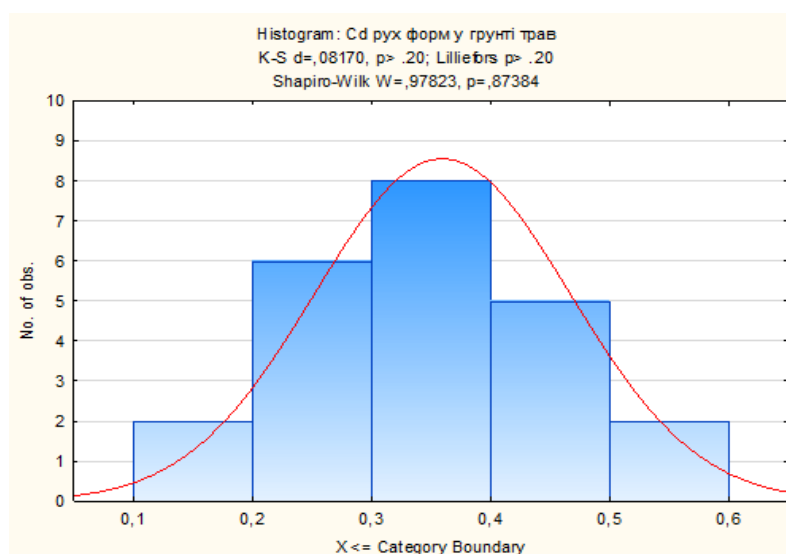


Рис. 5.12. Нормальний розподіл середніх показників кадмію (Cd) рухома форма в ґрунті за вирощування (міскантус, свічграс, сільфія пронизанолиста)

Критерій Шапіро-Вілка рівний 0,977. Згідно отриманих середніх показників із імовірністю 98 відсотків, розподіл являється нормальним.

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме 0,85) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута.

Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова – Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.5.13).

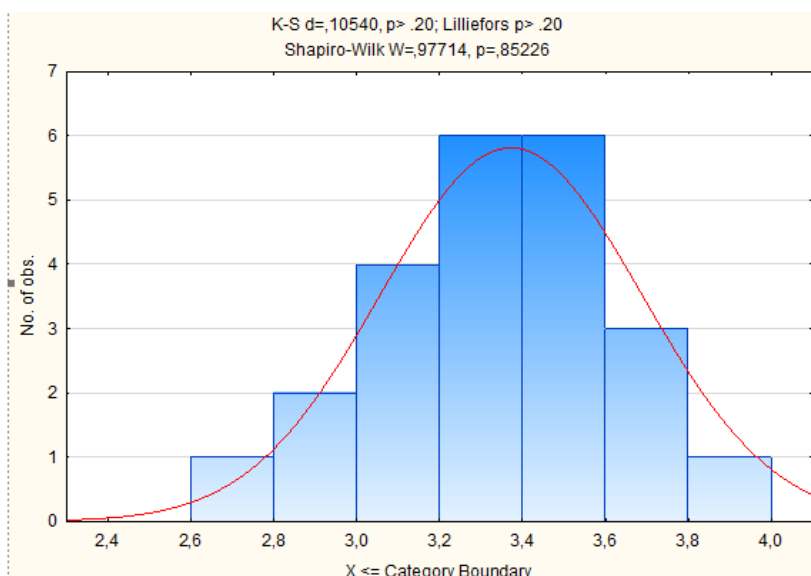


Рис. 5.13. Нормальний розподіл середніх показників кадмію рухома форма в ґрунті за вирощування (міскантус, свічграс, сильфія пронизанолиста)

Вміст міцнозв'язаних х форм важких металів у ґрунтах за вирощування свічграсу зростає у ряді: кадмій → плумбум → кобальт → нікель → купрум → цинк → ферум. Простежується закономірність у перевищенні вмісту елементів у дослідних ґрунтах фонових значень (табл.5.11 – 5.12).

Таблиця 5.11

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування фітоенергетичних культур після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Рослина	Міцно зв'язана форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
верба енергетична	1,24	1,44	1,06	1,05	1,08	1,24	1,04
топінамбур	1,05	1,14	1,03	1,03	1,06	1,04	1,16
міскантус	1,03	1,31	1,03	1,05	1,07	1,01	1,28
сильфія	1,12	1,19	1,07	1,06	1,06	1,02	1,25
світчграс	1,09	1,29	1,07	1,11	1,06	1,03	1,27
Σ	5,53	6,37	5,26	5,3	5,33	5,34	6

Щодо фонові території забруднення ґрунтів міцно зв'язаними формами важких металів за вирощування фітоенергетичних культур зростає у ряді: нікель → кобальт → цинк → ферум → плюмбум → купрум → кадмій.

Таблиця 5.12

Коефіцієнти концентрації рухомих форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування фітоенергетичних культур за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Рослина	Рухома форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
верба енергетична	1,18	1,41	1,19	1,02	1,84	2,14	1,02
топінамбур	1,27	2,00	1,19	0,94	1,68	2,07	1,02
міскантус	1,24	2,21	1,06	1,10	3,13	2,62	1,02
сильфія	1,09	1,84	1,16	1,05	2,47	2,65	1,02
світчграс	1,19	1,44	1,17	1,05	1,80	2,18	1,02
Σ	5,97	8,90	5,77	5,16	10,92	11,66	5,10

Забруднення ґрунтів рухомими формами важких металів у разі вирощування енергетичних культур зростає у ряді: купрум → кобальт → нікель → плюмбум → кадмій → цинк → ферум.

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті під час вирощування верби енергетичної після внесення ОСВ зростають у ряді: купрум → кобальт → плюмбум → нікель → кадмій → цинк → ферум (табл. 5.13).

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті під час вирощування топінамбура після внесення ОСВ зростають у ряді: кобальт → купрум → нікель → плюмбум → цинк → кадмій → ферум.

Таблиця 5.13

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування топінамбура після внесення осаду стічних вод, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Рухома форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,06	1,71	1,11	1,05	1,02	2,50	1,03
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,14	2,00	1,18	1,09	1,26	2,54	1,01
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,10	1,76	1,14	1,07	1,68	2,71	1,04
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,14	2,06	1,21	1,10	3,80	2,80	1,06
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,50	2,35	1,28	1,16	1,62	2,70	1,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	1,46	1,94	1,19	1,06	1,02	2,62	1,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1,48	2,18	1,22	1,11	1,32	2,71	0,99

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування топінамбура за внесення ОСВ зростають у ряді: нікель → кобальт → ферум → плюмбум → цинк → кадмій → купрум (табл. 5.14).

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм плюмбуму змінюються від 1,02 у варіанті за внесення N₆₀P₆₀K₆₀ до 1,12 за внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм кадмію та нікелю змінюються від 1,05 та 1,00 у варіанті за внесення N₆₀P₆₀K₆₀ до 1,11 та 1,03 відповідно за внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм кобальту та цинку за внесення ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈ становили 1,03 та 1,12 відповідно [116].

Таблиця 5.14

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування топінамбура за внесення осаду стічних вод, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Міцно зв'язана форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,02	1,05	1,00	1,01	1,04	1,03	1,07
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,04	1,18	1,02	1,02	1,08	1,05	1,15
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,04	1,07	1,03	1,01	1,02	1,01	1,04
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,05	1,16	1,03	1,02	1,06	1,05	1,19
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,05	1,34	1,04	1,03	1,12	1,07	1,30
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	1,04	1,07	1,02	1,06	1,02	1,04	1,15
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1,12	1,11	1,03	1,07	1,08	1,05	1,22

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчграсу за внесення ОСВ зростають у ряді: кадмій → купрум → кобальт → нікель → плумбум → цинк (Zn) → ферум (табл. 5.15) [323].

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм плумбуму змінюються від 1,02 у варіанті за внесення N₆₀P₆₀K₆₀ до 1,12 за внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм кадмію та нікелю змінюються від 1,05 та 1,00 у варіанті за внесення N₆₀P₆₀K₆₀ до 1,11 та 1,03 відповідно за внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм кобальту та цинку за внесення ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈ становили 1,03 та 1,12 відповідно.

Таблиця 5.15

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчґрасу за внесення осаду стічних вод, середнє за 2016 – 2022рр.

Варіант	Рухома форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,12	1,17	1,10	1,02	1,06	2,07	1,02
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,19	1,44	1,16	1,04	1,66	2,10	1,01
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,10	1,39	1,14	1,04	1,79	2,22	1,03
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,23	1,50	1,19	1,05	3,00	2,28	1,05
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,32	1,83	1,25	1,09	1,85	2,21	1,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	1,17	1,33	1,14	1,03	1,53	2,16	1,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1,23	1,44	1,18	1,07	1,69	2,21	0,99

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчґрасу після внесення ОСВ зростають у ряді: ферум → цинк → нікель → плумбум → кобальт → купрум → кадмій (табл. 5.16).

Таблиця 5.16

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчґрасу після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Міцно зв'язана форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
1	2	3	4	5	6	7	8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,02	1,18	1,03	1,09	1,02	1,02	1,04
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,04	1,36	1,06	1,10	1,04	1,05	1,17

1	2	3	4	5	6	7	8
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,03	1,15	1,03	1,04	1,00	1,01	1,09
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,09	1,25	1,07	1,13	1,04	1,03	1,26
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,15	1,43	1,08	1,14	1,13	1,05	1,35
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	1,13	1,33	1,10	1,11	1,06	1,03	1,43
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1,14	1,36	1,11	1,12	1,15	1,04	1,57

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті у разі вирощування міскантуса після внесення ОСВ зростають у ряді: купрум → нікель → кобальт → плюмбум → кадмій → ферум → цинк (табл. 5.17).

Таблиця 5.17

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування міскантуса після внесення осаду стічних вод, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Рухома форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,05	1,68	1,10	1,03	1,15	0,65	1,03
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,26	3,00	1,21	1,10	2,76	2,80	1,01
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,24	2,58	1,17	1,08	3,10	2,98	1,04
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,30	2,05	1,24	1,12	6,33	3,09	1,06
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,41	2,32	1,35	1,16	3,27	2,98	1,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	1,14	1,73	1,23	1,10	2,43	2,89	1,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1,28	2,11	1,27	1,13	2,84	2,97	0,99

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті у разі вирощування міскантуса після внесення ОСВ зростають у ряді: ферум → плумбум → нікель → кобальт → цинк → купрум → кадмій (табл. 5.18).

Таблиця 5.18

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування міскантуса, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Міцно зв'язана форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,01	1,09	1,01	1,01	1,05	1,01	1,05
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,02	1,43	1,03	1,04	1,07	1,03	1,14
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,01	1,25	1,01	1,03	1,00	1,00	1,05
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,03	1,34	1,06	1,05	1,02	1,03	1,18
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,07	1,46	1,07	1,09	1,07	1,02	1,32
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	1,04	1,22	1,01	1,04	1,11	1,01	1,55
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1,04	1,40	1,04	1,06	1,20	1,00	1,68

Коефіцієнти концентрації рухомих форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті у разі вирощування сільфії пронизанолистої після внесення ОСВ зростають у ряді: купрум → кобальт → плумбум → нікель → кадмій → ферум → цинк (табл. 5.19).

Таблиця 5.19

Коефіцієнти концентрації рухомих форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Рухома форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,05	1,24	1,04	1,01	1,12	2,50	1,03

1	2	3	4	5	6	7	8
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,12	1,86	1,11	1,03	2,41	2,54	1,01
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,02	1,62	1,16	1,05	2,68	2,71	1,04
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,07	2,14	1,22	1,08	5,26	2,80	1,06
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,16	2,62	1,25	1,10	2,81	2,70	1,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	1,06	1,38	1,12	1,03	2,14	2,62	1,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1,14	2,05	1,20	1,06	2,47	2,69	0,99

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів в дерново-підзолистому ґрунті у разі вирощування сільфії пронизанолистої після внесення ОСВ зростають у ряді: ферум → цинк → кобальт → нікель → плюмбум → кадмій → купрум (табл. 5.20) [310].

Таблиця 5.20

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Міцно зв'язана форма						
	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,04	1,08	1,04	1,03	1	1,02	1,11
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,08	1,19	1,08	1,05	1,05	1,03	1,22
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,12	1,11	1,06	1,04	1,03	1,01	1,17
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,16	1,25	1,09	1,09	1,10	1,02	1,22
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,20	1,31	1,12	1,09	1,15	1,03	1,33
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	1,09	1,14	1,04	1,06	1,05	1	1,28
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	1,15	1,25	1,08	1,09	1,05	1,01	1,44

Коефіцієнти рухомості важких металів у ґрунтах за вирощування енергетичних культур зростають у наступному ряді: нікель → цинк → кобальт → ферум → купрум → плюмбум → кадмій (табл. 5.21). Сумарний показник переходу важких металів із міцнозв'язаної у рухому форму найвищий у ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої (1,48), під плантацією верби, топінамбура і світчграсу відзначено однакове значення коефіцієнта рухомості металів – 1,27.

Таблиця 5.21

Коефіцієнти рухомості ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування енергетичних культур за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Рослина	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu	ΣКр
Верба енергетична	0,26	0,32	0,05	0,09	0,11	0,16	0,28	1,27
Топінамбур	0,29	0,47	0,05	0,10	0,05	0,11	0,21	1,27
Міскантус	0,29	0,46	0,05	0,12	0,07	0,11	0,23	1,33
Сільфія пронизанолиста	0,31	0,49	0,05	0,11	0,09	0,14	0,29	1,48
Світчграс	0,26	0,33	0,05	0,11	0,11	0,14	0,27	1,27

Найвищий коефіцієнт рухомості в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчграсу характерний для кадмію за внесення ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, для плюмбуму – у випадку внесення добрива $N_{90}P_{90}K_{90}$ та ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, для купруму – у контрольному варіанті (табл. 5.22) [312].

Найвище значення переходу міцнозв'язаної форми цинку у рухому форму спостерігається за внесення у ґрунт ОСВ у нормі 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$. У всіх варіантах дослідження коефіцієнти рухомості нікелю і кобальту в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчграсу є стабільними на рівні 0,05 і 0,11, відповідно.

Коефіцієнти рухомості металів у ґрунті за вирощування світчґрасу зростають у ряді: нікель → кобальт → цинк → ферум → плюмбум → купрум → кадмій.

Таблиця 5.22

Коефіцієнти рухомості ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування світчґрасу за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,24	0,30	0,05	0,11	0,07	0,07	0,32
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,26	0,29	0,05	0,11	0,07	0,14	0,31
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,28	0,31	0,05	0,11	0,11	0,14	0,27
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,26	0,36	0,05	0,11	0,12	0,16	0,30
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,27	0,36	0,05	0,11	0,20	0,16	0,26
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,28	0,38	0,05	0,11	0,11	0,15	0,24
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,25	0,30	0,05	0,10	0,10	0,15	0,22
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,26	0,31	0,05	0,11	0,10	0,15	0,20

У випадку внесення у ґрунт ОСВ у дозі 30 т/га і N₅₀P₅₂K₇₄ зафіксований найвищий коефіцієнт рухомості плюмбуму – 0,39 (табл. 5.23). Максимальне значення коефіцієнта рухомості кадмію відзначено за внесення у ґрунт N₉₀P₉₀K₉₀, цинку – після внесення у ґрунт ОСВ у дозі 30 т/га і N₃₀P₃₃K₆₆, купруму – у контрольному варіанті та за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 20 т/га і N₅₀P₅₂K₇₄. Нікель та кобальт проявляють стабільність значень рухомості у ґрунті під плантацією міскантуса – 0,05 – 0,06 та 0,11-0,12, відповідно [314].

Коефіцієнти рухомості металів у ґрунті за вирощування міскантуса зростають у ряді: нікель → цинк → ферум → кобальт → купрум → плюмбум → кадмій.

Таблиця 5.23

**Коефіцієнти рухомості ВМ в дерново-підзолистому ґрунті у разі
вирощування міскантуса, середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,24	0,28	0,05	0,11	0,03	0,05	0,27
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,26	0,44	0,05	0,12	0,03	0,03	0,26
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,30	0,59	0,06	0,12	0,07	0,13	0,24
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,30	0,58	0,06	0,12	0,08	0,14	0,27
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,39	0,43	0,06	0,12	0,17	0,14	0,24
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,32	0,45	0,06	0,12	0,08	0,13	0,20
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,27	0,40	0,06	0,12	0,06	0,13	0,17
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,30	0,43	0,06	0,12	0,06	0,14	0,16

Найвища рухомість кадмію в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої спостерігали за внесення ОСВ у дозі 40 т/га і N₁₀P₁₄K₅₈, максимальні коефіцієнти рухомості плюмбуму зафіксовані після внесення добрив N₆₀P₆₀K₆₀ та N₉₀P₉₀K₉₀, купруму – у контрольному варіанті досліді, цинку і феруму – після внесення у ґрунт ОСВ у дозі 30 т/га і N₃₀P₃₃K₆₆.

Нікель та кобальт проявляють стабільність показників їх рухомості у всіх варіантах досліді (табл. 5.24).

Коефіцієнти рухомості металів у ґрунті у разі вирощування сільфії пронизанолистої зростають у ряді: нікель → цинк → кобальт → ферум → купрум → плюмбум → кадмій

Таблиця 5.24

**Коефіцієнти рухомості ВМ в дерново-підзолистому ґрунті у разі
вирощування сільфії пронизанолистої після внесення ОСВ,
середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,31	0,33	0,05	0,11	0,05	0,06	0,35
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,32	0,38	0,05	0,11	0,04	0,14	0,32
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,32	0,51	0,05	0,11	0,09	0,14	0,29
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,29	0,48	0,05	0,11	0,10	0,15	0,31
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,29	0,56	0,05	0,11	0,18	0,16	0,30
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,30	0,65	0,05	0,11	0,09	0,15	0,26
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,31	0,40	0,05	0,11	0,08	0,15	0,28
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,31	0,54	0,05	0,11	0,09	0,15	0,24

Стабільність коефіцієнтів рухомості нікелю і кобальту відзначено також у дерново-підзолистому ґрунті за вирощування топінамбура (табл. 5.25).

Таблиця 5.25

**Коефіцієнти рухомості ВМ в дерново-підзолистому ґрунті за вирощування
топінамбура за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
1	2	3	4	5	6	7	8
Без добрив (контроль)	0,24	0,28	0,05	0,11	0,03	0,05	0,23
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,25	0,45	0,05	0,12	0,03	0,11	0,22
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,27	0,47	0,05	0,12	0,04	0,11	0,20
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,26	0,46	0,05	0,12	0,06	0,12	0,23
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,26	0,49	0,05	0,12	0,12	0,12	0,20

1	2	3	4	5	6	7	8
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,35	0,49	0,06	0,13	0,05	0,11	0,18
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0,34	0,51	0,05	0,11	0,03	0,11	0,20
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0,32	0,54	0,05	0,12	0,04	0,12	0,19

Найвищу рухомість кадмію відзначено після внесення компосту у ґрунт у нормі 30 т/га і добрива N₃₀K₅₅.

Плюмбум проявляє максимальну рухомість у випадку внесення у ґрунт за вирощування топінамбура ОСВ концентрацією 40 т/га і N₁₀P₁₄K₅₈, цинк – за внесення ОСВ у нормі 30 т/га і N₃₀P₃₃K₆₆.

Коефіцієнти рухомості металів у ґрунті у разі вирощування топінамбура зростають у ряді: нікель → цинк → кобальт → ферум → купрум → плюмбум → кадмій [313].

Коефіцієнти рухомості важких металів у ґрунті у разі вирощування енергетичних культур є найнижчими у контрольних варіантах дослідження, що пояснюється найнижчими значеннями забруднення ґрунтів важкими металами.

5.2 Розподіл важких металів по органах фітоенергетичних культур

Вміст важких металів нікелю, плюмбуму, купруму, цинку, кобальту найвищий у зеленій масі верби енергетичної за внесення ОСВ у дозі 80 т/га (рис. 5.14).

Максимальне значення концентрації кадмію встановлено у зеленій масі верби за внесення компосту у дозі 60 т/га, а феруму після внесення компосту у ґрунт у дозі 60 т/га.

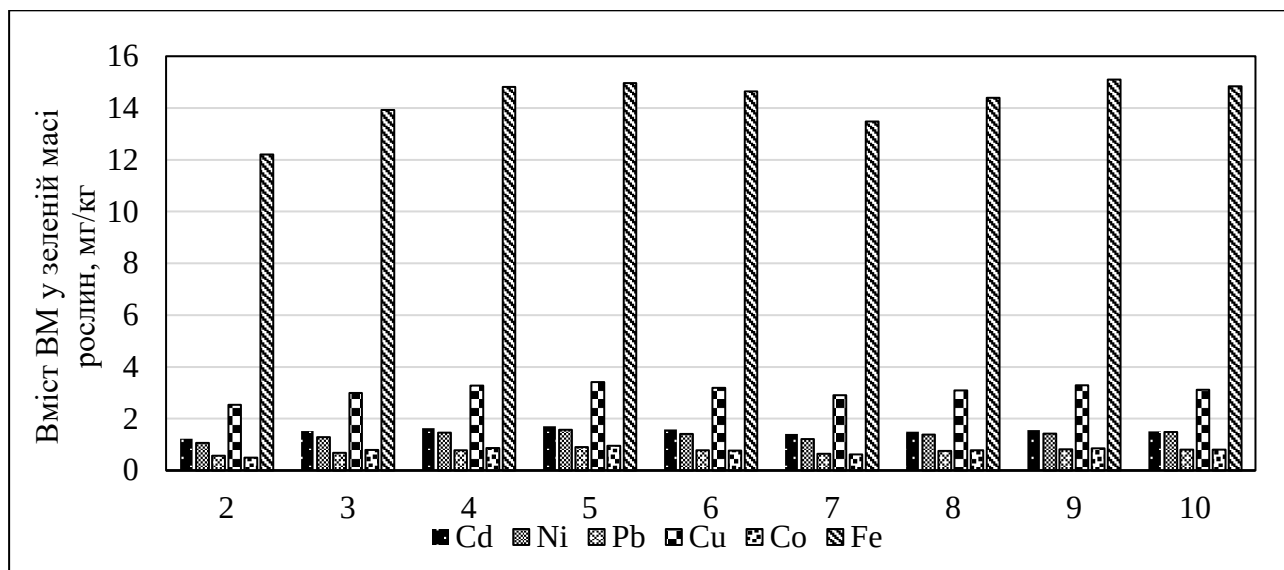


Рис. 5.14 Вміст ВМ в зеленій масі верби енергетичної за повторного внесення ОСВ і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Найнижчі значення важких металів встановлені у ґрунті за вирощування верби енергетичної після внесення добрива $N_{100}P_{100}K_{100}$. Вміст важких металів у зеленій масі верби енергетичної зростає у ряді: плумбум → кобальт → нікель → кадмій → купрум → ферум → цинк. Найвищий вміст важких металів у зеленій масі топінамбура зафіксований після внесення ОСВ у нормі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (рис. 5.15).

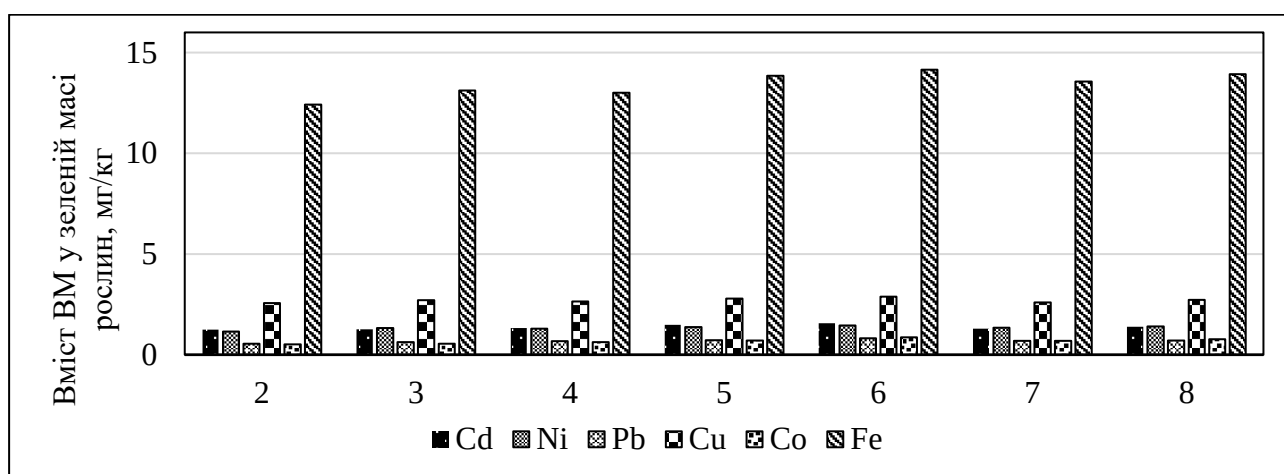


Рис. 5.15 ВМ в зеленій масі топінамбура за внесення ОСВ і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Мінімальні концентрації важких металів відзначено у рослинах вирощених на ґрунті, після внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Зелена маса топінамбура має здатність акумулювати важкі метали у наступній зростаючій послідовності: плумбум → нікель → кадмій → купрум → кобальт → ферум → цинк [316].

Найбільші концентрації кадмію, плумбуму, цинку, кобальту виявлено у зеленій масі світчґрасу після внесення ОСВ у дозі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (рис. 5.16).

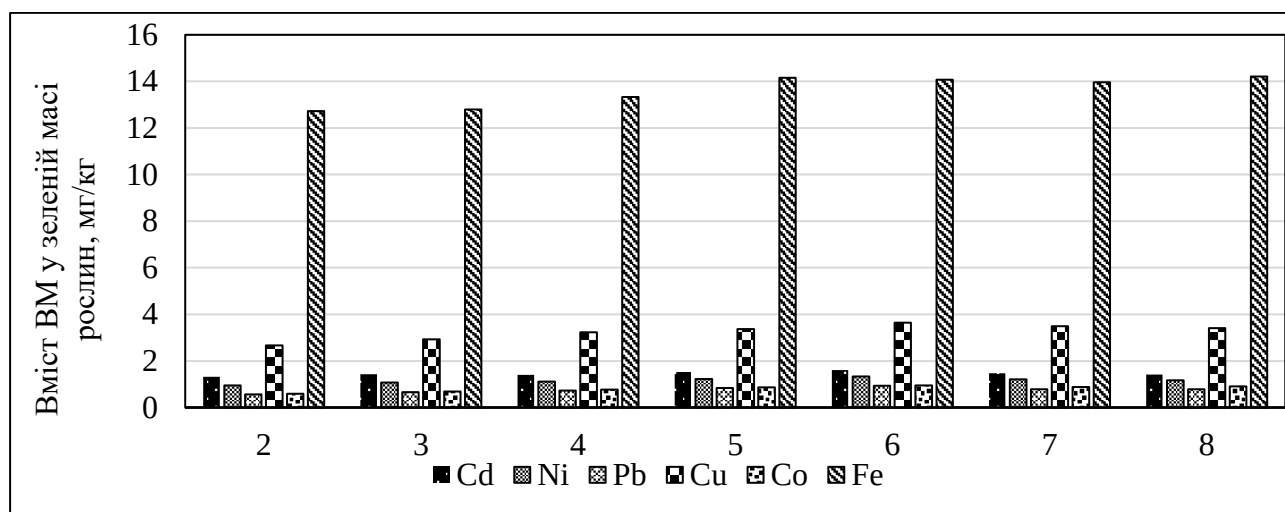


Рис. 5.16 Вміст важких металів в зеленій масі світчґрасу після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Максимальний вміст нікелю, купруму, феруму встановлено у зеленій масі світчґрасу після внесення компосту у нормі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$.

Поглинання важких металів зеленою масою світчґрасу відбувається у наступному ряді: плумбум → кобальт → нікель → кадмій → купрум → ферум → цинк [315].

Найвищий вміст важких металів кадмію, плумбуму, купруму, цинку встановлено у зеленій масі міскантуса за внесення ОСВ у дозі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$. Концентрація нікелю, кобальту і феруму у зеленій масі міскантуса найвища за внесення компосту у нормі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$. Поглинання важких металів зеленою масою міскантуса відбувається у наступному ряді, аналогічно до акумуляції важких металів зеленою масою світчґрасу: плумбум → кобальт → нікель → кадмій → купрум → ферум → цинк (табл. 5.30).

Концентрації нікелю, плюмбуму, цинку, кобальту, феруму у зеленій масі сільфії сягають максимальних значень за внесення ОСВ у дозі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$. Найвищий вміст кадмію та купруму у зеленій масі сільфії пронизанолистої – за внесення компосту у дозі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$.

Найменші концентрації усіх важких металів у зеленій масі сільфії пронизанолистої встановлено після внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Посилення акумуляції важких металів зеленою масою сільфії пронизанолистої відбувається так, як і у випадку зі світчграсом та міскантусом – у ряді: плюмбум → кобальт → нікель → кадмій → купрум → ферум → цинк [316].

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси верби енергетичної після внесення осаду стічних вод зростають у ряді: нікель → цинк → ферум → купрум → кадмій → плюмбум → кобальт (рис. 5.17).

Найвищі індекси спостерігали після внесення у ґрунт ОСВ у дозі 80 т/га, найнижчі – після внесення у ґрунт добрива $N_{100}P_{100}K_{100}$.

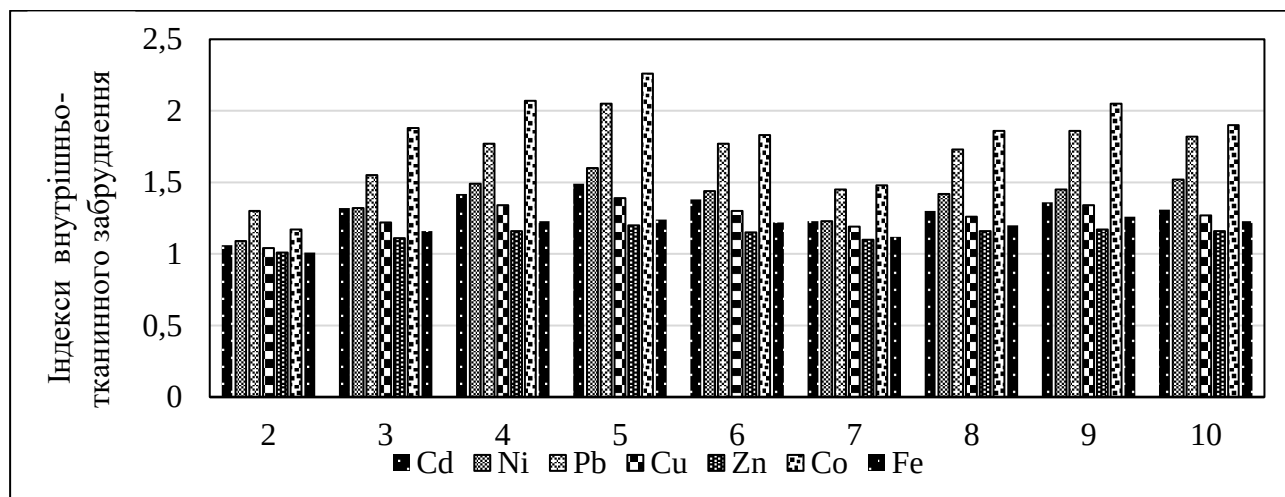


Рис. 5.17 Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси верби після внесення осаду стічних вод, середнє за 2016 – 2022 рр.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси світчграсу після внесення осаду стічних вод зростають у ряді: кадмій (Cd) → цинк → ферум → купрум → нікель → плюмбум → кобальт (рис. 5.18).

Найвищі індекси забруднення встановлені для кадмію, плюмбуму, цинку, кобальту у зеленій масі світчграсу за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$.

Піки індексів внутрішньо-тканинного забруднення надземної фітомаси світчграсу зафіксовані для нікелю, купруму і феруму за внесення компосту у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$. Мінімальні значення забруднення тканин зеленої маси світчграсу спостерігали за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Виняток становить ферум, пік забруднення яким у надземній масі світчграсу відбувався за внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$.

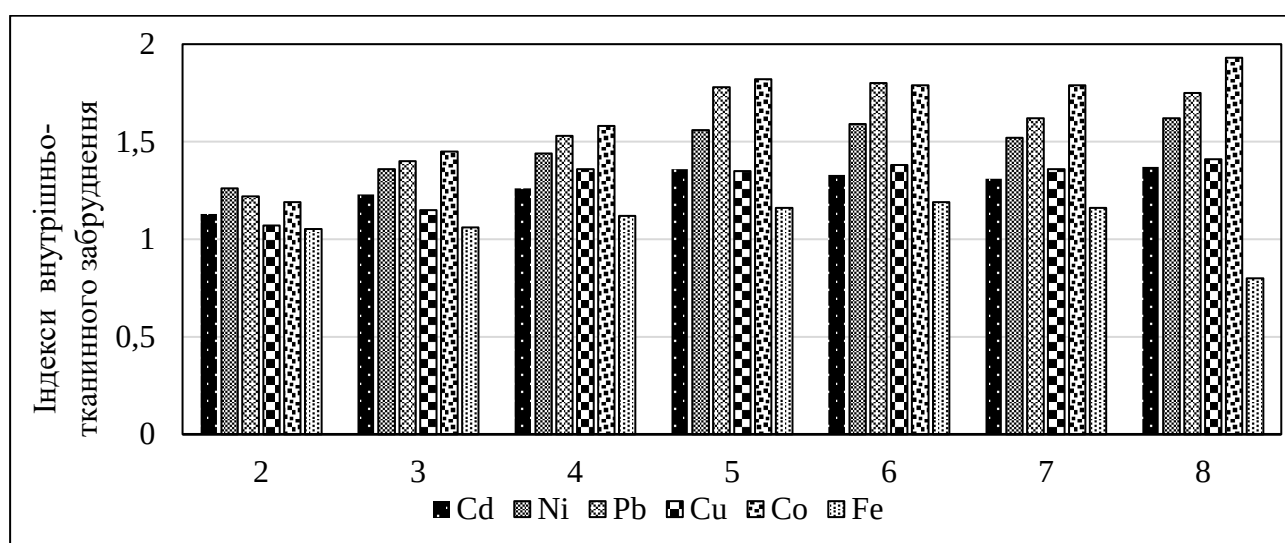


Рис. 5.18 Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси світчграсу за внесення осаду стічних вод, середнє за 2016 – 2022 рр.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси топінамбура після внесення ОСВ зростають у ряді: цинк → ферум → купрум → кадмій → кобальт → плюмбум → нікель.

Найвищі індекси спостерігають за внесення ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$.

Найнижчі індекси забруднення зеленої маси металами встановлені у варіанті після внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Виняток складає кадмій, мінімальний індекс забруднення яким зеленої маси топінамбура встановлено у варіанті після внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$ (рис. 5.19).

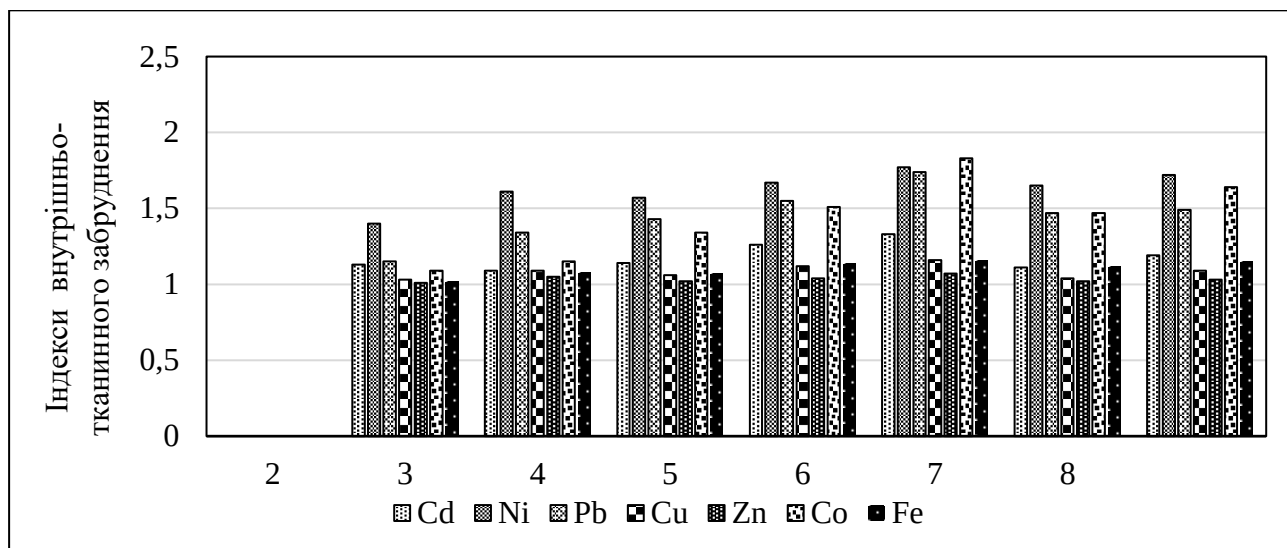


Рис.5.19 Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси топінамбура після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси сільфії пронизанолистої після внесення осаду стічних вод зростають у ряді: цинк → ферум → купрум → нікель → кадмій → плумбум → кобальт.

Мінімальні індекси зафіксовані у варіанті за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$, а найвищі індекси для нікелю, плумбуму, цинку, кобальту і феруму – за внесення ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$.

Для кадмію і купруму найнижчі значення внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси сільфії пронизанолистої встановлено за внесення ОСВ у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами зеленої маси міскантуса після внесення осаду стічних вод зростають у ряді: цинк → ферум → купрум → нікель → кадмій → плумбум → кобальт [312].

Для кадмію, плумбуму, купруму і цинку піки внутрішньоклітинного забруднення зеленої маси міскантуса встановлені у варіанті після внесення ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$.

Максимальні індекси забруднення зеленої маси міскантуса нікелем, кобальтом і ферумом спостерігаються за внесення компосту у нормі 30 т/га і N₃₀K₅₅ [314].

Встановлено наявність позитивних кореляційних взаємозв'язків між концентрацією рухомих форм у ґрунтах у разі вирощування верби енергетичної та вмістом важких металів у зеленій масі рослини (табл. 5.26).

Таблиця 5.26

Коефіцієнти кореляційної залежності між вмістом важких металів у ґрунті та зеленій масі верби після внесення осаду стічних вод

ґрунт	зелена маса						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,97	0,97	0,95	0,95	0,94	0,96	0,93
Cd	0,92	0,84	0,86	0,87	0,81	0,90	0,83
Ni	0,71	0,62	0,62	0,62	0,54	0,61	0,49
Co	0,86	0,79	0,81	0,82	0,75	0,78	0,72
Cu	0,29	0,15	0,18	0,20	0,09	0,21	0,004
Zn	0,86	0,82	0,83	0,83	0,81	0,83	0,73
Fe	0,75	0,76	0,82	0,75	0,74	0,74	0,74

Найвищий коефіцієнт кореляції (0,97) зафіксовано між вмістом плюмбуму у ґрунті та концентрацією кадмію і нікелю у надземній фітомасі верби енергетичної. Поглинання кадмію зеленою масою рослин підвищується під час зростання вмісту рухомих форм кобальту, кадмію, нікелю у ґрунті, про що свідчать відповідні кореляційні показники [318].

Найвищі кореляційні коефіцієнти у системі «ґрунт-зелена маса» топінамбура спостерігали між металами: кадмій – нікель (0,98), нікель – нікель (0,97), кобальт – купрум (0,97). Найістотніший синергічний ефект плюмбум проявляє на поглинання кобальту зеленою масою топінамбура (табл. 5.27).

Таблиця 5.27

Коефіцієнти кореляційної залежності між вмістом ВМ у ґрунті та зеленій масі топіамбура після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Ґрунт	Зелена маса						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,61	0,71	0,75	0,55	0,56	0,85	0,81
Cd	0,81	0,98	0,90	0,87	0,84	0,82	0,90
Ni	0,86	0,97	0,94	0,89	0,87	0,88	0,94
Co	0,92	0,87	0,91	0,97	0,93	0,85	0,87
Cu	0,26	0,16	0,17	0,20	0,10	-0,03	0,04
Zn	0,60	0,35	0,45	0,55	0,42	0,34	0,45
Fe	0,64	0,93	0,77	0,67	0,60	0,62	0,71

Кореляційний аналіз між вмістом рухомих форм важких металів у ґрунтах у разі вирощування міскантуса та концентрацією важких металів у зеленій масі рослини встановив, що найвищий синергічний ефект усі метали проявляють на поглинання кадмію надземною фітомасою (табл. 5.28).

Таблиця 5.28

Коефіцієнти кореляційної залежності між вмістом ВМ у ґрунті та зеленій масі міскантуса після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Ґрунт	Зелена маса						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,87	0,86	0,84	0,79	0,82	0,64	0,78
Cd	0,52	0,51	0,42	0,41	0,42	0,31	0,39
Ni	0,96	0,94	0,94	0,89	0,95	0,84	0,93
Co	0,96	0,96	0,95	0,89	0,96	0,85	0,93
Cu	0,10	0,03	0,05	0,07	-0,0007	-0,24	-0,10
Zn	0,66	0,66	0,67	0,59	0,61	0,41	0,49
Fe	0,85	0,88	0,86	0,85	0,83	0,75	0,76

Найтісніші кореляційні зв'язки також встановлено між концентрацією кобальту у ґрунті та вмістом нікелю і цинку у зеленій масі міскантуса. Встановлено позитивний середній та слабкий зв'язок між вмістом кадмію у ґрунті та концентрацією металів у надземній фітомасі. Найслабший вплив на поглинання металів зеленою масою міскантуса проявляє купрум.

Найтісніші позитивні кореляційні зв'язки встановлені між накопиченням кадмію зеленою масою світчграсу та концентрацією рухомих форм плюмбуму, кадмію, нікелю у ґрунтах (табл. 5.29). Кобальт проявляє найсильніший синергічний ефект на поглинання цинку надземною фітомасою світчграсу.

Таблиця 5.29

Коефіцієнти кореляційної залежності між вмістом ВМ у ґрунті та зеленій масі світчграсу за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Ґрунт	Зелена маса						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,95	0,88	0,89	0,84	0,91	0,85	0,54
Cd	0,95	0,80	0,91	0,73	0,94	0,83	0,38
Ni	0,96	0,82	0,91	0,78	0,92	0,86	0,56
Co	0,92	0,92	0,94	0,86	0,98	0,89	0,50
Cu	0,26	-0,26	0,04	-0,27	0,002	-0,002	0,25
Zn	0,70	0,41	0,59	0,37	0,51	0,57	0,64
Fe	0,73	0,62	0,72	0,67	0,64	0,71	0,71

Зростання вмісту рухомих форм нікелю у ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої зумовлює максимальне підвищення акумуляції кобальту зеленою масою (коефіцієнт кореляції 0,98) (табл. 5.30).

Найвищі кореляційні показники встановлено між вмістом кобальту у ґрунті та вмістом плюмбуму і кобальту у зеленій масі сільфії. Кадмій та

плумбум проявляють взаємний синергічний ефект за переміщення у системі «грунт-надземна маса» [322].

Таблиця 5.30

Коефіцієнти кореляційної залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та зеленій масі сільфії після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Грунт	Зелена маса						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,82	0,72	0,75	0,62	0,70	0,64	0,60
Cd	0,80	0,83	0,89	0,73	0,83	0,86	0,76
Ni	0,87	0,94	0,97	0,90	0,93	0,98	0,92
Co	0,75	0,86	0,92	0,80	0,88	0,92	0,86
Cu	-0,06	0,005	0,07	-0,003	0,03	0,26	0,10
Zn	0,55	0,62	0,67	0,61	0,65	0,75	0,66
Fe	0,80	0,70	0,72	0,67	0,59	0,81	0,64

Встановлено, що найбільше поглинання важких металів коренями верби енергетичної та топінамбура відбувається за внесення ОСВ у нормі 80 т/га, а найменша акумуляція важких металів – за внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$ (рис.5.20).

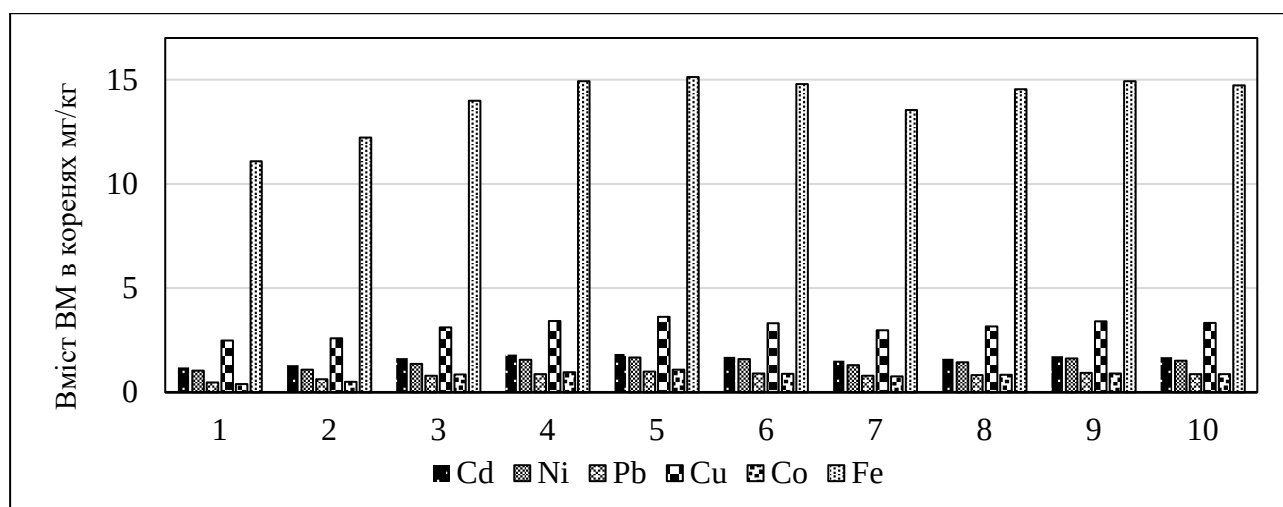


Рис.5.20 Вміст ВМ в коренях верби енергетичної після повторного внесення ОСВ і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Верба енергетична та бульби топінамбура поглинають важкі метали кореневою системою у однаковій послідовності: кобальт → плумбум → нікель → кадмій → купрум → ферум → цинк (рис.5.21).

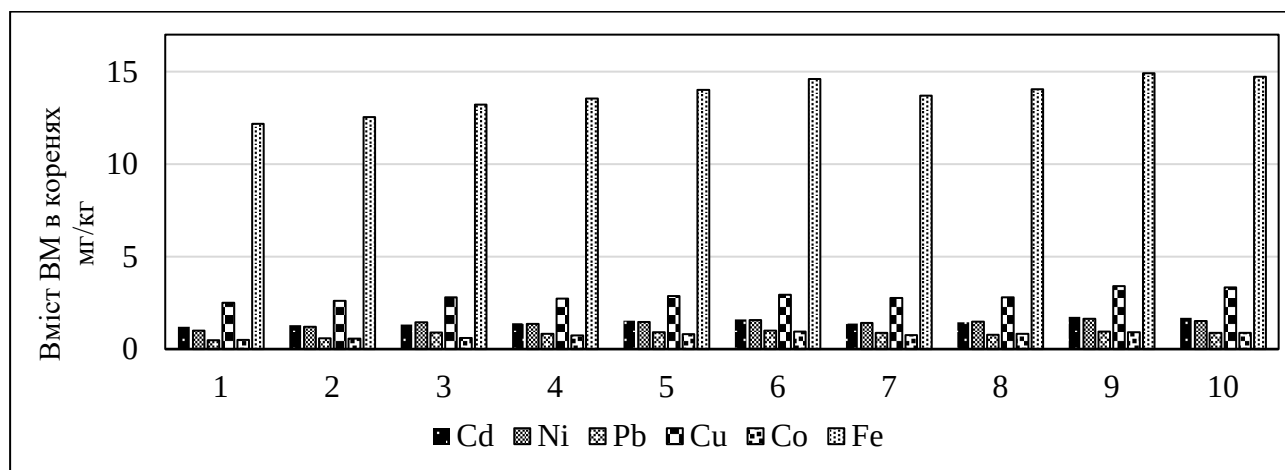


Рис.5.21 Вміст ВМ в бульбах топінамбура за внесення ОСВ і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Виявлена деяка відмінність у послідовності акумуляції важких металів коренями світчграсу, міскантуса та сильфії пронизанолистої від верби енергетичної і топінамбура, оскільки ці рослини накопичують метали кореневою системою у такому ряді: плумбум → кобальт → нікель → кадмій → купрум → ферум → цинк (рис. 5.22).

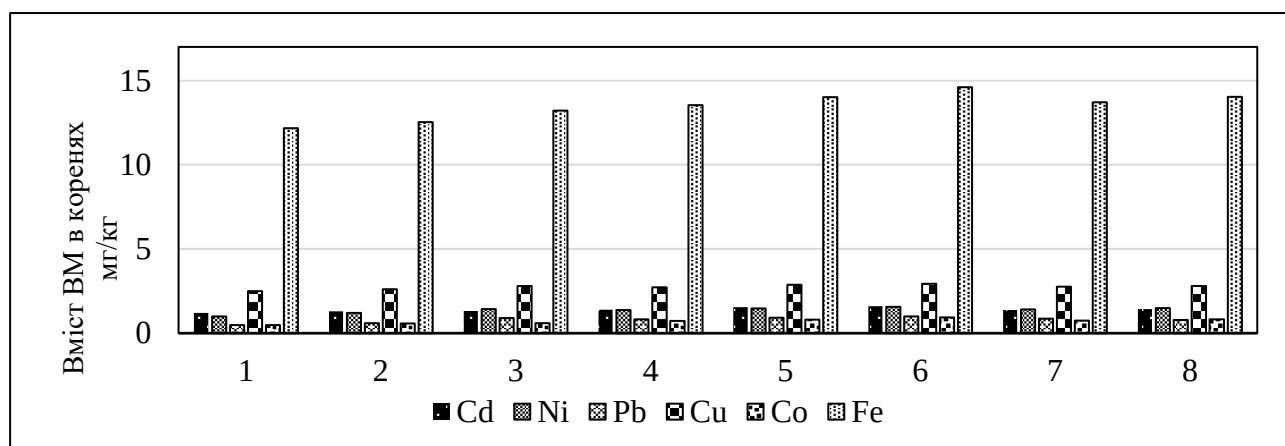


Рис.5.22 Вміст ВМ в коренях світчграсу після внесення оОСВ і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Максимальний вміст феруму у коренях світчграсу, нікелю та кобальту – у коренях міскантуса виявлений після внесення компосту на основі ОСВ і соломи у нормі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$. Піки концентрацій інших важких металів для коренів світчграсу і міскантуса встановлені за внесення ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$.

Найнижчі кількості важких металів у коренях енергетичних рослин встановлені за їх росту у контрольному варіанті досліду без внесення добрив.

Максимальні індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів верби відзначені у варіанті за внесення ОСВ у дозі 80 т/га, мінімальні – після внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$ (рис.5.23). Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів верби після внесення ОСВ зростають у ряді: цинк → ферум → купрум → кадмій → нікель → плумбум → кобальт.

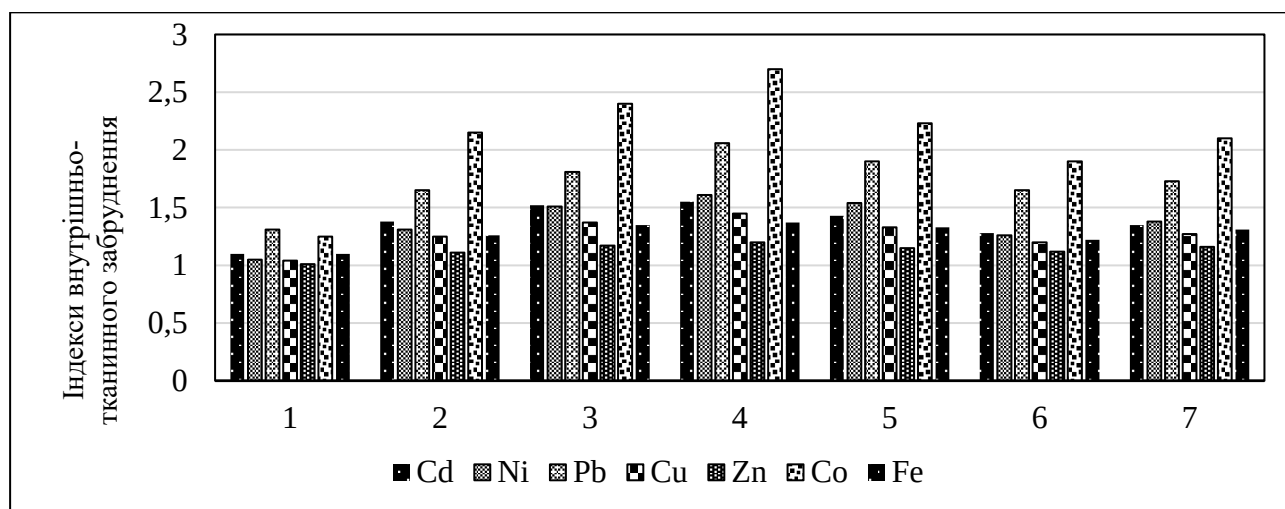


Рис.5.23 Індекси внутрішньо-тканинного забруднення ВМ коренів верби енергетичної після повторного внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів світчграсу після внесення ОСВ зростають у ряді: цинк → ферум → кадмій → купрум → нікель → плумбум → кобальт [321].

Піки індексів забруднення коренів для кадмію, плумбуму, купруму, цинку, кобальту і феруму встановлені після внесення ОСВ у нормі 40 т/га і

добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, для нікелю – за внесення компосту на основі ОСВ та соломи у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$. Мінімальні індекси внутрішньо-тканинного забруднення нікелем, плюмбумом, цинком, кобальтом і ферумом коренів світчграсу встановлені за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$. Найменші показники забруднення коренів рослини купрумом та кадмієм встановлені після внесення ОСВ у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{52}K_{74}$.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів топінамбура за внесення ОСВ зростають у ряді: цинк → купрум → ферум → кадмій → нікель → кобальт → плюмбум (рис.5.24). Найнижчі індекси встановлені для усіх металів у варіанті після внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$, найвищі – за внесення ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ [314, 323].

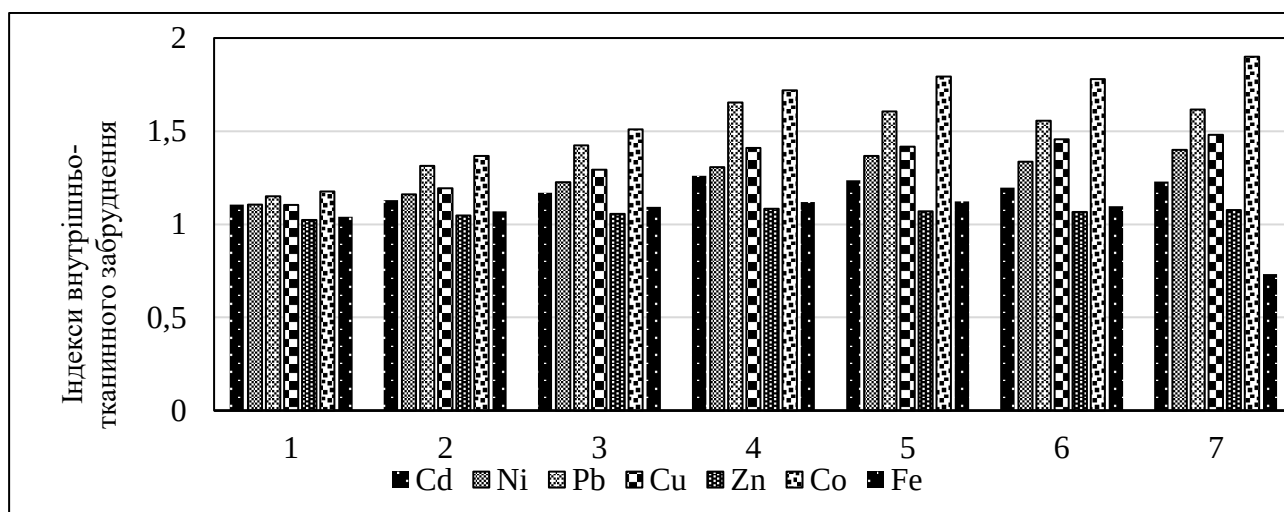


Рис.5.24 Індекси внутрішньо-тканинного забруднення ВМ коренів світчграсу за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів міскантуса за внесення ОСВ зростають у ряді: ферум → цинк → кадмій → нікель → купрум → плюмбум → кобальт. Піки внутрішньо-тканинного забруднення кадмієм, плюмбумом, купрумом, цинком, ферумом коренів міскантуса зафіксовані за внесення ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ [315, 323].

Найвищі індекси внутрішньо-тканинного забруднення для нікелю, кобальту і цинку також встановлені у варіанті за внесення компосту у дозі 30

т/га і $N_{30}K_{55}$. Мінімальні індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів міскантуса зафіксовані за внесення $N_{60}P_{60}K_{60}$.

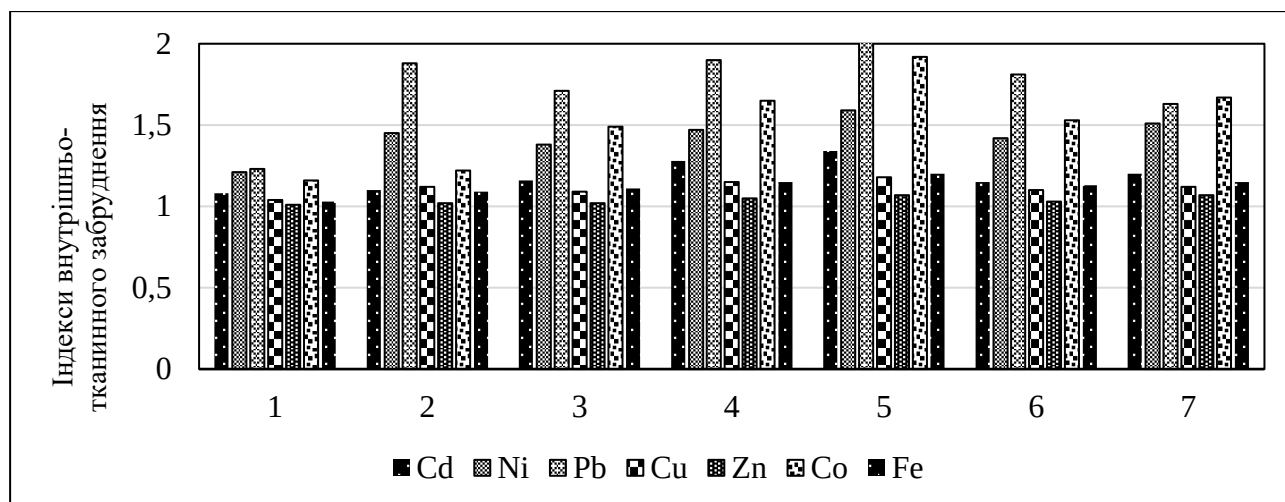


Рис.5.25 Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів топінамбура за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів сільфії за внесення ОСВ зростають у ряді: цинк → ферум → кадмій → нікель → купрум → плюмбум → кобальт.

Максимальні індекси забруднення коренів сільфії пронизанолистої кадмієм, нікелем і кобальтом спостерігається за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, цинком і ферумом– за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 30 т/га і добрива $N_{50}P_{52}K_{74}$, плюмбумом і купрумом – компосту у дозі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$. Найменші індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів сільфії пронизанолистої відзначено у випадку внесення у ґрунт добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Максимальні позитивні коефіцієнти кореляції встановлено між вмістом рухомих форм плюмбуму, кобальту і кадмію у ґрунті та концентрацією кадмію у коренях верби (табл. 5.31). Плюмбум проявляє найвищий синергічний вплив на акумуляцію кобальту коренями верби. Встановлено середній за тіснотою позитивний зв'язок між вмістом нікелю у ґрунті та накопиченням кобальту підземною масою верби енергетичної [319].

Таблиця 5.31

Коефіцієнти кореляційної залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та коренях верби за внесення ОСВ, (2016 – 2022 рр).

ґрунт	коренева система						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,98	0,93	0,95	0,97	0,95	0,98	0,96
Cd	0,90	0,89	0,87	0,89	0,79	0,89	0,84
Ni	0,68	0,59	0,64	0,64	0,55	0,69	0,59
Co	0,83	0,82	0,80	0,82	0,74	0,82	0,77
Cu	0,51	0,46	0,47	0,52	0,36	0,49	0,38
Zn	0,83	0,86	0,86	0,89	0,84	0,87	0,79
Fe	0,84	0,92	0,93	0,91	0,92	0,84	0,90

Підвищення концентрації рухомих форм нікелю у ґрунті за вирощування топінамбура чинить прямий позитивний вплив на акумуляцію нікелю кореневою системою топінамбура (табл.5.32).

Таблиця 5.32

Кореляційні залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та коренях топінамбура за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

ґрунт	коренева система						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,63	0,72	0,59	0,66	0,78	0,78	0,78
Cd	0,84	0,97	0,88	0,94	0,83	0,85	0,90
Ni	0,88	0,98	0,90	0,96	0,87	0,89	0,94
Co	0,91	0,92	0,84	0,94	0,89	0,87	0,90
Cu	0,29	0,11	0,23	0,19	-0,05	0,12	0,11
Zn	0,60	0,37	0,43	0,50	0,40	0,43	0,44
Fe	0,69	0,87	0,78	0,79	0,60	0,70	0,74

Кадмій проявляє найвищий синергічний вплив на поглинання нікелю коренями рослини, кобальт – на поглинання купруму, плюмбум – на поглинання цинку, кобальту і феруму.

Найвищі кореляційні залежності встановлено між вмістом рухомих форм кобальту у ґрунті за вирощування міскантуса та концентрацією кадмію, нікелю, цинку, феруму коренями міскантуса (коефіцієнт кореляції 0,96) (табл. 5.33).

Таблиця 5.33

Кореляційні залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та коренях міскантуса за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

ґрунт	коренева система						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,87	0,87	0,83	0,87	0,82	0,66	0,91
Cd	0,53	0,51	0,40	0,70	0,42	0,36	0,52
Ni	0,96	0,95	0,94	0,93	0,96	0,85	0,95
Co	0,96	0,96	0,95	0,93	0,96	0,86	0,96
Cu	0,15	0,03	0,02	0,19	-0,05	-0,16	-0,17
Zn	0,67	0,65	0,63	0,69	0,57	0,46	0,50
Fe	0,82	0,88	0,85	0,95	0,81	0,80	0,80

Найвищий синергічний вплив рухома форма нікелю проявляє у ґрунті на поглинання коренями міскантуса кадмію та цинку, плюмбуму – на поглинання феруму, а кадмію – на поглинання купруму.

Встановлено наявність позитивних кореляційних зв'язків між концентрацією рухомих форм важких металів у ґрунтах і вмістом важких металів у коренях світчграсу.

Відзначено слабкі та середні негативні кореляційні залежності між вмістом рухомої форми купруму у ґрунті та вмістом важких металів у зеленій масі світчграсу.

Максимальний синергічний ефект на акумуляцію плюмбуму коренями світчграсу проявляє кадмій, цинку і феруму – кобальт, кадмію – плюмбум і нікель (табл. 5.34) [324].

Таблиця 5.34

Кореляційні залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та коренях світчграсу після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022рр.

ґрунт	коренева система						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,92	0,77	0,87	0,90	0,81	0,78	0,87
Cd	0,91	0,64	0,95	0,80	0,83	0,76	0,82
Ni	0,94	0,73	0,91	0,82	0,86	0,77	0,87
Co	0,88	0,78	0,92	0,89	0,87	0,87	0,89
Cu	-0,23	-0,63	-0,08	-0,61	-0,55	-0,55	-0,45
Zn	0,42	0,39	0,60	0,35	0,37	0,37	0,51
Fe	0,78	0,70	0,62	0,63	0,79	0,79	0,77

Рухома форма нікелю у ґрунті за вирощування сільфії пронизанолистої володіє максимальним синергічним ефектом на поглинання кадмію, нікелю, купруму і кобальту коренями рослини, а цинк – на поглинання феруму і цинку (табл. 5.35).

Рухома форма купруму у ґрунті проявляє слабкий негативний вплив на поглинання нікелю, плюмбуму, купруму та кобальту коренями сільфії пронизанолистої.

Згідно отриманих результатів, встановлено наявність позитивних кореляційних зв'язків між концентрацією рухомих форм важких металів у ґрунтах і вмістом важких металів у коренях сільфії пронизанолистої.

Таблиця 5.35

**Кореляційні залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та коренях
сильфії пронизанолистої за внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.**

ґрунт	коренева система						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,65	0,71	0,72	0,51	0,09	0,68	0,12
Cd	0,83	0,85	0,43	0,51	0,46	0,77	0,47
Ni	0,96	0,93	0,89	0,70	0,67	0,90	0,67
Co	0,90	0,89	0,79	0,58	0,62	0,82	0,63
Cu	0,11	-0,03	-0,06	-0,21	0,67	-0,05	0,74
Zn	0,66	0,58	0,54	0,38	0,86	0,56	0,86
Fe	0,70	0,58	0,73	0,48	0,65	0,64	0,74

Найвищий коефіцієнт переходу важких металів із коренів у надземну частину верби енергетичної при її вирощуванні на дослідних ґрунтах характерний для цинку, топінамбура і міскантуса – для феруму, світчграсу – для нікелю (табл. 5.36).

Таблиця 5.36

**Коефіцієнти переходу важких металів із коренів енергетичних культур у
надземну частину при вирощуванні на ґрунтах за внесення ОСВі на його
основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.**

Культура	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe	Σ
верба енергетична	0,92	0,93	0,89	0,96	1,00	0,91	0,90	6,51
топінамбур	0,96	0,93	0,83	0,97	1,00	0,91	1,14	6,74
міскантус	0,97	0,96	0,94	0,93	0,99	0,94	1,01	6,74
сильфія	1,16	1,03	1,23	1,12	1,02	1,40	1,08	8,04
світчграс	1,05	1,40	0,10	0,93	0,97	0,95	1,01	6,41

Сумарний коефіцієнт переходу важких металів із коренів енергетичних культур у надземну частину зростає у ряді: світчграс → верба → міскантус → топінамбур → сильфія пронизанолиста [311, 314, 322].

Коефіцієнти переходу важких металів із коренів у надземну частину верби енергетичної наведено у таблиці (рис. 5.26).

Коефіцієнти переходу важких металів у системі «корені – зелена маса» верби енергетичної зростають у ряді: Pb → Fe → Co → Cd → Ni → Cu → Zn

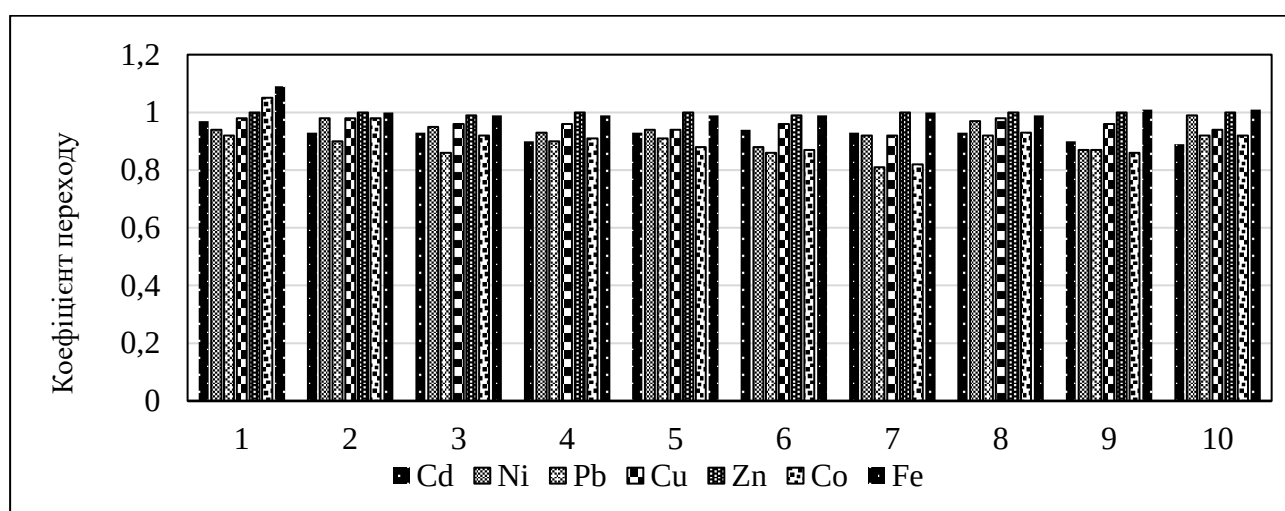


Рис. 5.26 Коефіцієнти переходу важких металів у системі «корені-зелена маса» верби енергетичної за внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Коефіцієнти переходу важких металів із коренів у надземну частину міскантуса наведено на рисунку (5.27).

Для міскантуса характерне зростання коефіцієнтів переходу важких металів у системі «корені-зелена маса» у ряді: Cu → Pb → Co → Ni → Cd → Zn → Fe

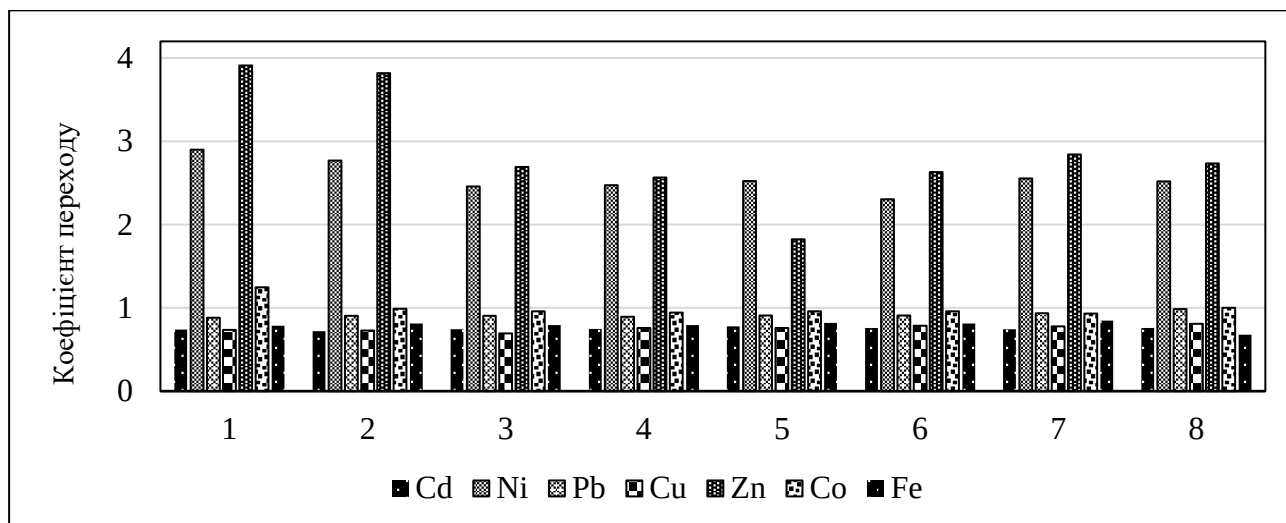


Рис. 5.27 Коефіцієнти переходу ВМ у системі «корені-зелена маса» міскантуса після внесення у ґрунт ОСВ і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Коефіцієнти переходу важких металів із коренів у надземну частину топінамбура наведено на рисунку (5.28). Для топінамбура характерне зростання коефіцієнтів переходу важких металів у системі «корені-зелена маса» у ряді:

$Pb \rightarrow Co \rightarrow Ni \rightarrow Cd \rightarrow Cu \rightarrow Zn \rightarrow Fe$ [306, 308, 321].

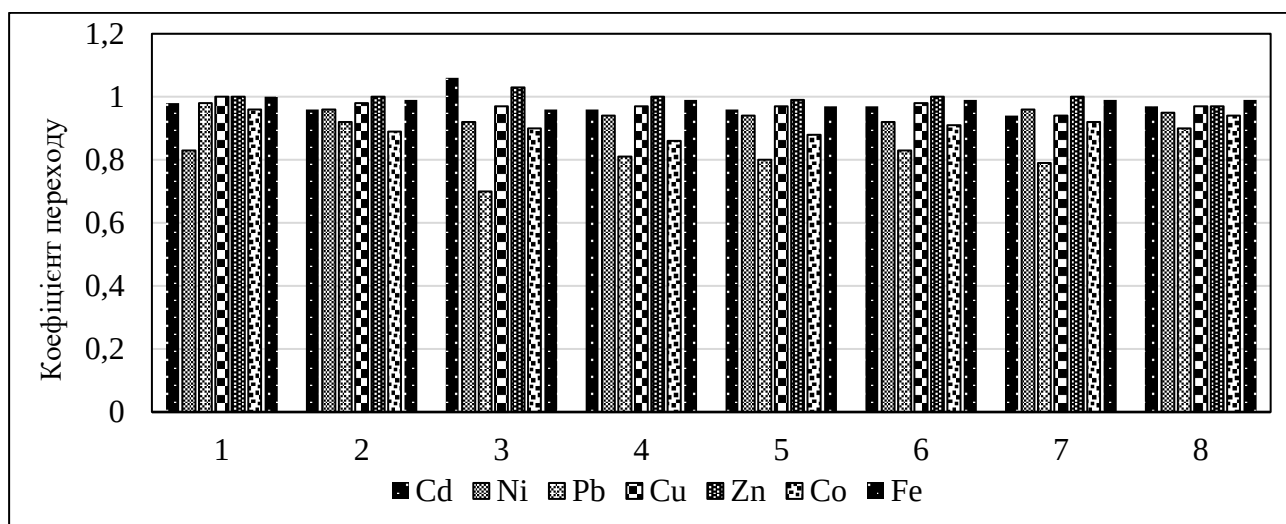


Рис. 5.28 Коефіцієнти переходу ВМ у системі «корені-зелена маса» топінамбура після внесення у ґрунт ОСВ і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Коефіцієнти переходу важких металів із коренів у надземну частину світлграсу. Для світлграсу виявлено підвищення переходу важких металів із коренів у надземну масу у ряді: $\text{Cu} \rightarrow \text{Co} \rightarrow \text{Zn} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Fe} \rightarrow \text{Cd} \rightarrow \text{Ni}$

Коефіцієнти переходу важких металів із коренів у надземну частину сільфії наведено у таблиці. Для сільфії пронизанолистої виявлено підвищення переходу важких металів із коренів у надземну масу у ряді: $\text{Zn} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Fe} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{Cd} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Co}$.

Для кадмію найвищий коефіцієнт переходу у системі «грунт – надземна фітомаса» верби має місце у випадку внесення компосту концентрацією 20 т/га у ґрунт (рис. 5.29).

Для нікелю найвищий перехід із ґрунту у надземну частину рослини спостерігається після внесення компосту у дозі 40 і 60 т/га, а для кобальту і купруму – за внесення компосту кількістю 60 т/га. Максимальний коефіцієнт транслокації плюмбуму у надземну частину верби відзначено у випадку внесення у ґрунт ОСВ у дозі 80 т/га, цинку і феруму – у контрольному варіанті.

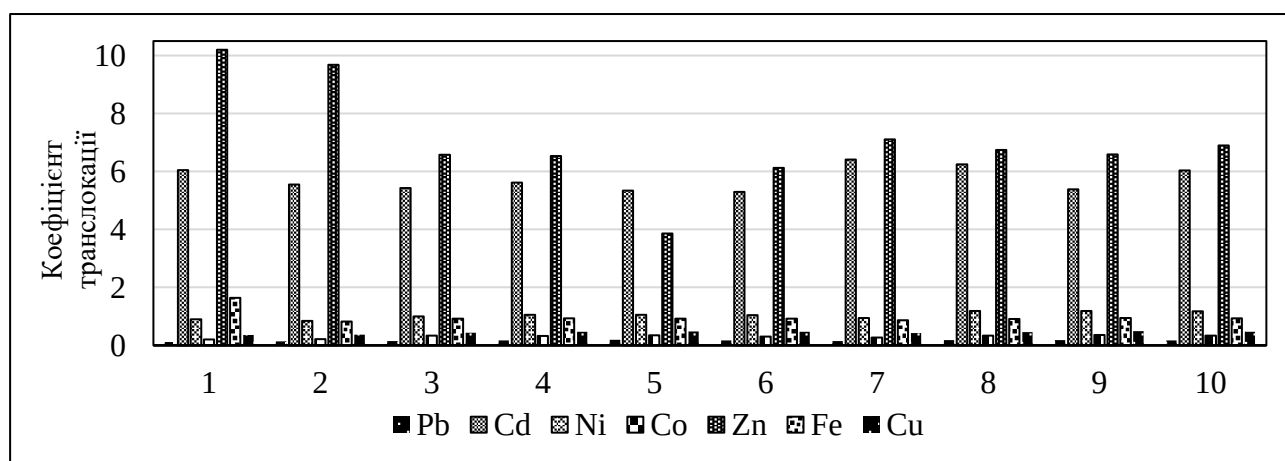


Рис. 5.29 Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – надземна фітомаса» верби після внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Максимальний коефіцієнт транслокації кадмію, цинку і феруму у системі «ґрунт – надземна фітомаса» світчграсу зафіксований у контрольному варіанті експерименту, плюмбуму і кобальту – після внесення ОСВ у дозі 40 т/га і добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, нікелю і купруму – за внесення компосту кількістю 30 т/га і внесення у ґрунт добрива $N_{30}K_{55}$ (рис. 5.30).

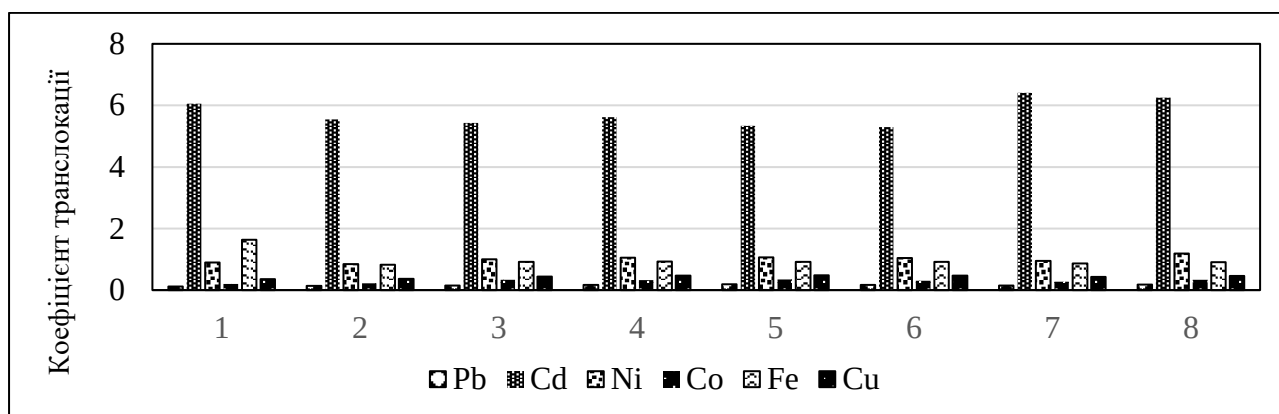


Рис. 5.30 Коефіцієнти транслокації ВМ у системі «ґрунт – надземна фітомаса» світчграсу після внесення у ґрунт ОСВ і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Найвищий коефіцієнт транслокації кадмію і цинку у системі «ґрунт – надземна фітомаса» міскантуса зафіксований у контрольному варіанті дослідження, плюмбуму – за внесення ОСВ у дозі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, феруму – за внесення у ґрунт мінеральних добрив $N_{60}P_{60}K_{60}$, нікелю – за внесення компосту в дозі 30 т/га і мінеральних добрив $N_{30}K_{55}$, кобальту і купруму – за внесення ОСВ у дозі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, а також компосту в дозі 30 т/га і мінерального добрива $N_{30}K_{55}$.

Найвищий коефіцієнт транслокації кадмію і феруму у системі «ґрунт – надземна фітомаса» топінамбура зафіксований у контрольному варіанті дослідження, плюмбуму – за внесення компосту у дозі 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$, цинку – за внесення компосту у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$, нікелю – за внесення компосту в дозі 30 т/га

+ $N_{30}K_{55}$, купруму – за внесення ОСВ у дозі 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$, кобальту – за внесення у ґрунт $N_{90}P_{90}K_{90}$ (рис. 5.31).

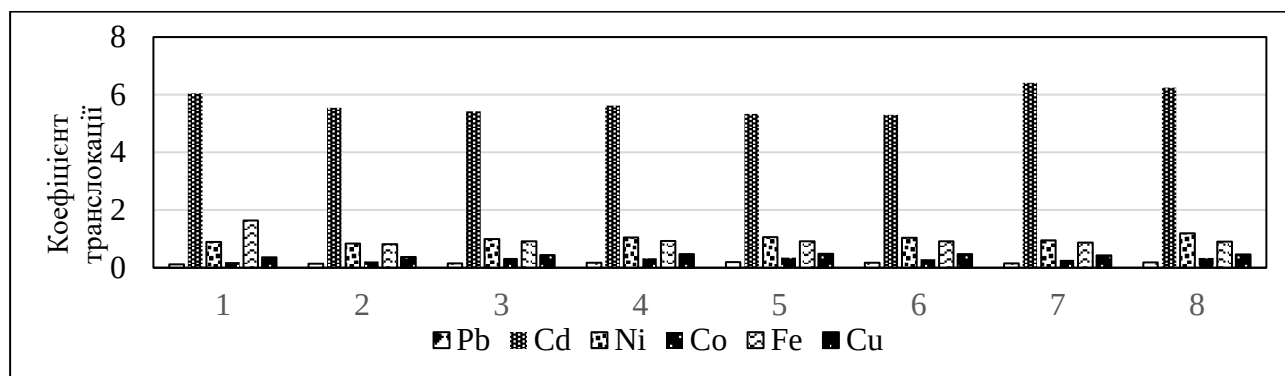


Рис.5.31 Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «ґрунт – надземна фітомаса» топінамбура після внесення у ґрунт ОСВ, середнє за 2016–2022 рр.

Найвищий коефіцієнт транслокації кадмію у системі «ґрунт – надземна фітомаса» сильфії пронизанолистої зафіксований за внесення компосту у дозі 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$, нікелю і купруму – за внесення компосту у дозі 30 т/га + $N_{30}K_{55}$, кобальту і плюмбуму – за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, а також за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 30 т/га і мінерального добрива $N_{30}P_{33}K_{66}$, та за внесення компосту у дозі 30 т/га і мінерального добрива $N_{30}K_{55}$, цинку і феруму – у контрольному варіанті

Найвищий коефіцієнт транслокації кадмію у системі «ґрунт – коренева система» верби енергетичної зафіксований після внесення компосту 20 т/га, нікелю – за внесення компосту 60 т/га, кобальту і купруму – після внесення у ґрунт ОСВ у дозі 80 т/га, плюмбуму – за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 80 т/га і компосту у дозі 60 т/га, цинку та феруму – у контрольному варіанті дослідів (рис. 5.32).

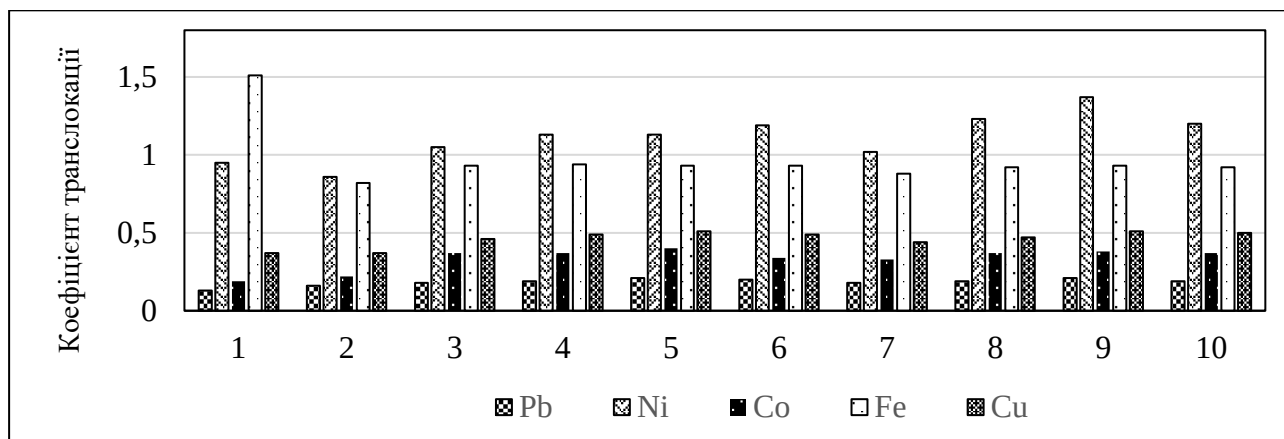


Рис.5.32 Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – коренева система» верби за внесення у грунт ОСВ, середнє за 2016–2022 рр.

Найвищий коефіцієнт транслокації кадмію та цинку у системі «грунт – коренева система» міскантуса зафіксований у контрольному варіанті дослід, нікелю, купруму і кобальту – після внесення компосту у дозі 30 т/га і внесення добрива $N_{30}K_{55}$, плюмбуму – після внесення компосту у дозі 20 т/га і внесення у грунт добрива $N_{50}P_{16}K_{67}$, феруму – після внесення у грунт добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$ (рис. 5.33)

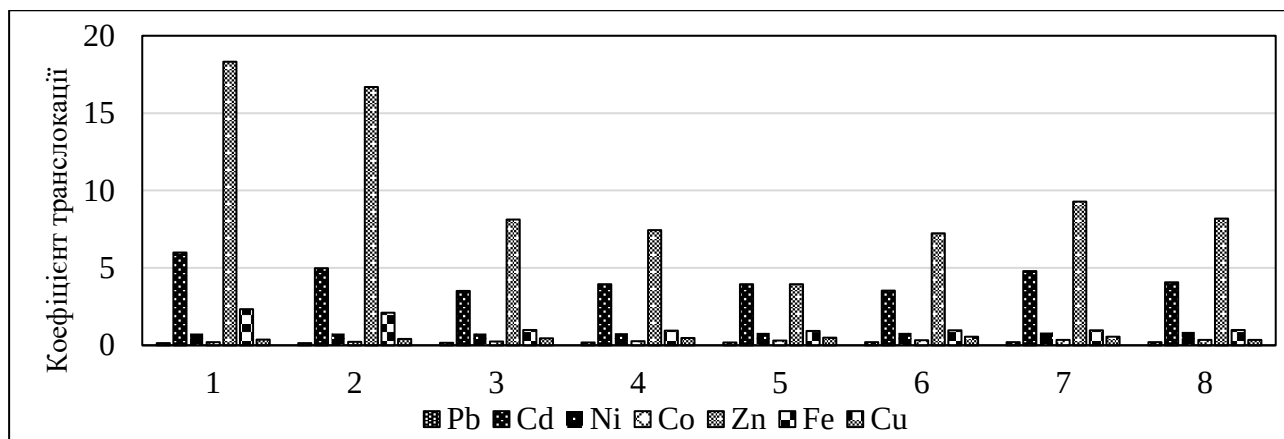


Рис.5.33 Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – коренева система» міскантуса за внесення у грунт ОСВ, середнє за 2016–2022 рр.

Максимальні коефіцієнти переходу нікелю, купруму і кобальту у системі «грунт – коренева система» топінамбура зафіксовані за внесення у грунт ОСВ в дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, плюмбуму – за внесення 30 т/га ОСВ і $N_{30}P_{33}K_{66}$, цинку –

за внесення у ґрунт компосту в дозі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$, кадмію і феруму – у контрольному варіанті досліді (рис. 5.34).

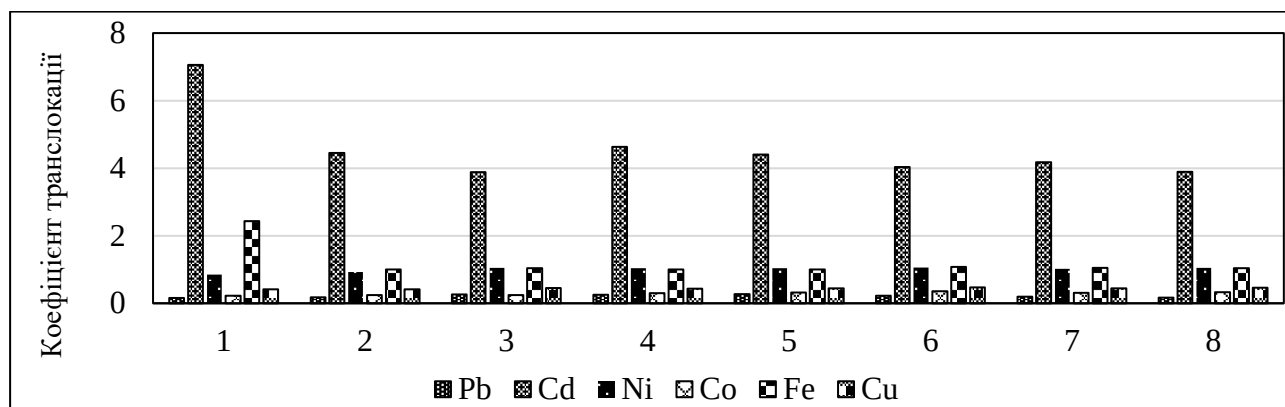


Рис.5.34 Коефіцієнти транслокації ВМ у системі «ґрунт – коренева система» топінамбура за внесення у ґрунт ОСВ, середнє за 2016–2022 рр.

Максимальні коефіцієнти переходу нікелю у системі «ґрунт – коренева система» світчґрасу зафіксовані за внесення у ґрунт компосту 30 т/га і $N_{30}K_{55}N_{10}$, кобальту – за внесення компосту у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$ та за внесення у ґрунт 40 т/га ОСВ + $N_{10}P_{14}K_{58}$, плюмбуму – за внесення у ґрунт ОСВ у нормі 40 т/га і мінерального добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$, кадмію – у контрольному варіанті досліді.

Найвищі коефіцієнти транслокації кадмію, нікелю, цинку, феруму у системі «ґрунт – коренева система» сільфії відзначено у контрольному варіанті, плюмбуму, кобальту і купруму – внесення у ґрунт компосту у дозі 30 т/га і мінерального добрива $N_{30}K_{55}$.

Також найвищі коефіцієнти переходу плюмбуму спостерігали за внесення 20 т/га компосту і $N_{50}P_{16}K_{67}$, кобальту – за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і добрива $N_{10}P_{14}K_{58}$ [112, 118].

Найвищий вміст важких металів у золі верби енергетичної спостерігали після внесення 80 т/га ОСВ (рис. 5.35).

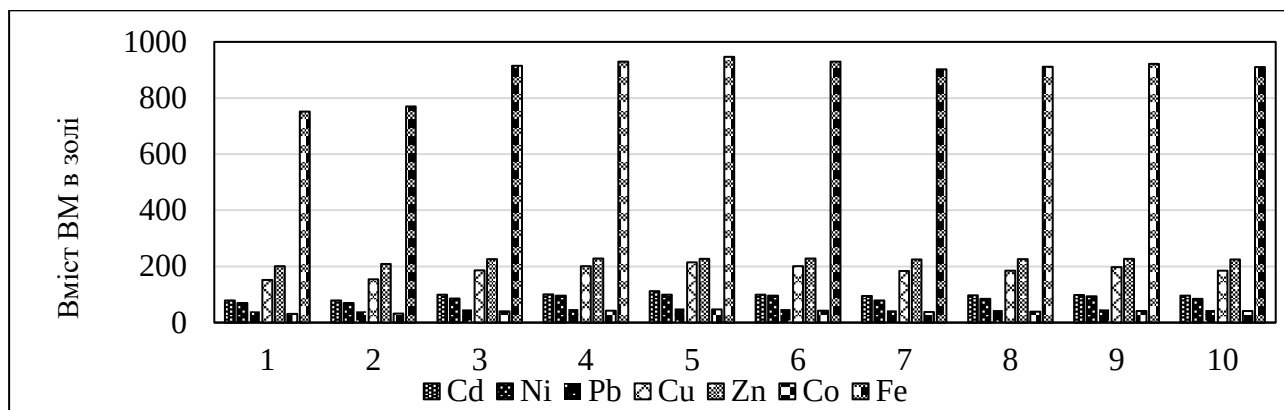


Рис. 5.35 Вміст важких металів в золі верби енергетичної після повторного внесення осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Виняток становить цинк, вміст якого у золі верби сягає максимального значення за внесення у ґрунт ОСВ у нормі 60 т/га. Найменший вміст усіх досліджених важких металів у золі верби енергетичної встановлено за внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$. Найвищий вміст важких металів у золі світчґрасу зафіксовано за внесення 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (рис.5.36). Найнижчий вміст важких металів у золі світчґрасу спостерігали за внесення мінерального добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$ [308, 310].

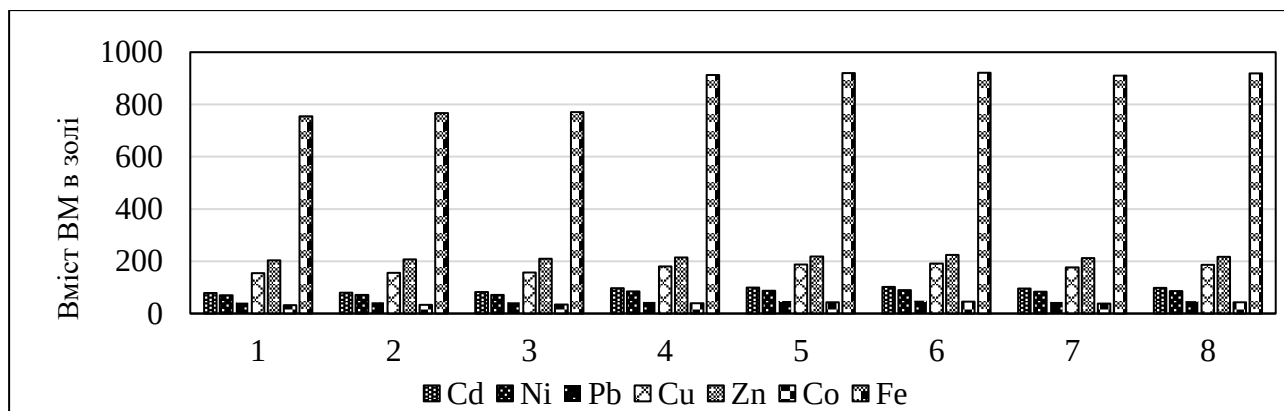


Рис. 5.36 Вміст важких металів в золі світчґрасу після внесення осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Аналогічний результат характерний для топінамбура, сільфії пронизанолистої та міскантуса. Виняток становить ферум, вміст якого у золі

міскантуса найвищий після внесення 30 т/га ОСВ та $N_{30}P_{33}K_{66}$. Концентрація важких металів у золі усіх досліджуваних культур зростає у такому ряді: кобальт → плумбум → нікель → кадмій → купрум → цинк → ферум. Визначали вміст важких металів в золі топінамбура за внесення різних норм ОСВ (рис.5.37)

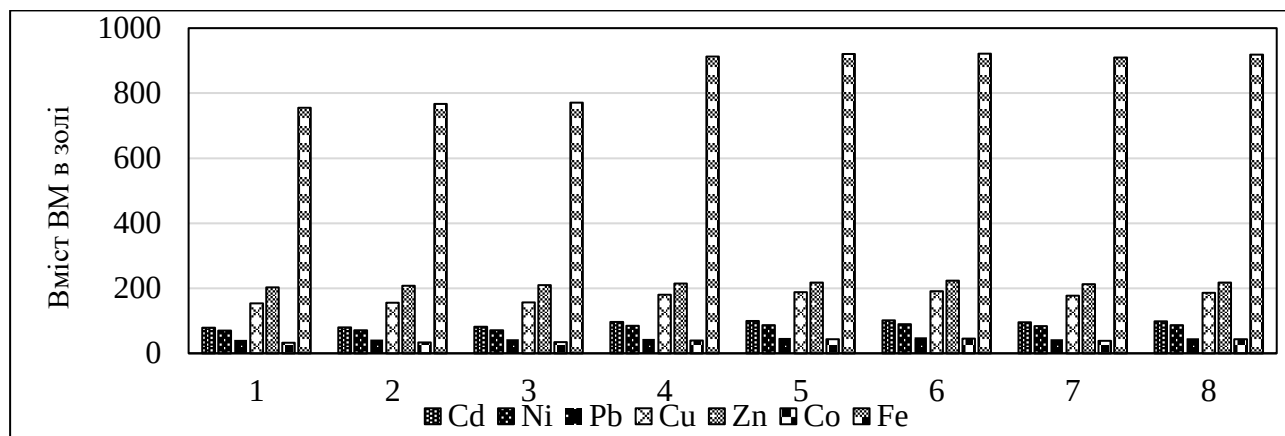


Рис.5.37 Вміст важких металів в золі топінамбура після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Найвищі коефіцієнти біологічного поглинання важких металів вербою енергетичною характерні для кадмію у всіх варіантах досліді (рис.5.38). Для цього елементу максимальне значення КБП спостерігали у контролі, тоді як мінімальне значення КБП кадмію вербою зафіксоване за внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$.

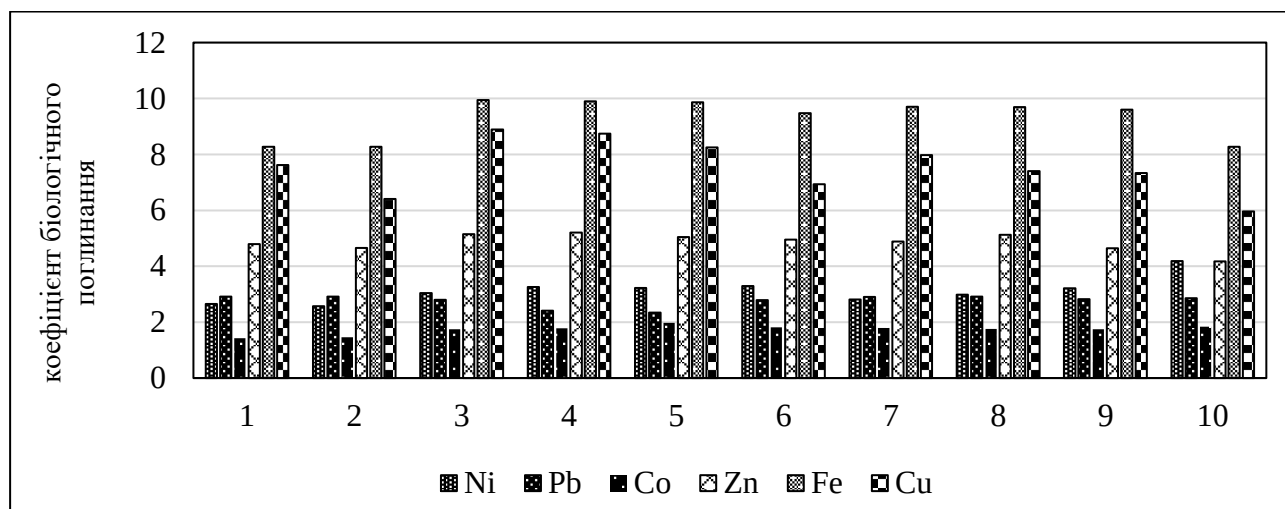


Рис.5.38 Коефіцієнти біологічного поглинання ВМ вербою енергетичною за повторного внесення ОСВ і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Найвищий КБП нікелю вербою спостерігали за внесення компосту 60 т/га, а найнижче значення – у варіанті – $N_{100}P_{100}K_{100}$.

Максимальне значення КБП для плюмбуму відзначали за внесення компосту у дозі 40 т/га та у контрольному варіанті досліді, для кобальту – за внесення 80 т/га ОСВ. Найвищі коефіцієнти біологічного поглинання феруму і купруму вербою встановлено після внесення 40 т/га ОСВ, цинку – за внесення 60 т/га ОСВ у. Найнижчі значення КБП цинку, феруму і купруму відзначено за внесення компосту в ґрунт у дозі 40 т/га. Для феруму найнижчі значення КБП також зафіксовані у контрольному варіанті та у випадку внесення у ґрунт добрива $N_{100}P_{100}K_{100}$. Мінімальне значення КБП кобальту встановлено у контрольному варіанті, плюмбуму – після внесення у ґрунт 80 т/га ОСВ.

КБП верби зростає у ряді елементів: кобальт → плюмбум → цинк → нікель → купрум → ферум → кадмій.

Найвище значення КБП кадмію світчграсом характерне для контрольного варіанту досліді, а плюмбуму, цинку, купруму та кобальту – після внесення 20 т/га та $N_{50}P_{52}K_{74}$ (рис.5.39).

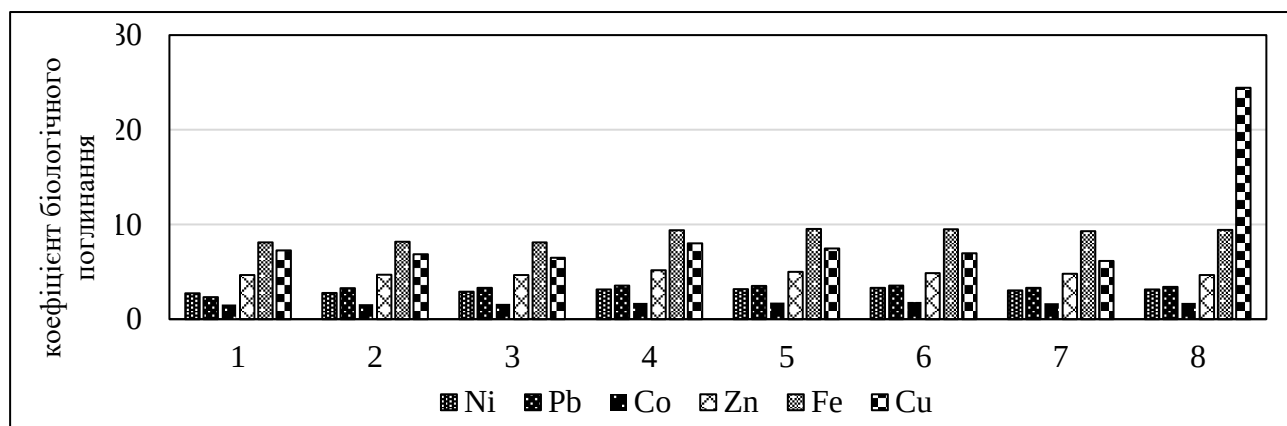


Рис.5.39 Коефіцієнти біологічного поглинання ВМ світчграсом після внесення ОСВ і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Максимальне значення КБП нікелю і феруму світчграсом спостерігали за внесення ОСВ у нормі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$. Мінімальні значення КБП нікелю, цинку, феруму та плюмбуму спостерігали у контрольному варіанті досліді,

кадмію – за внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$, а кобальту – $N_{60}P_{60}K_{60}$. Найменші значення КБП купруму і цинку відзначено також за внесення компосту у дозі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$.

КБП світчграсу зростає у ряді елементів: кобальт $\rightarrow$ плюмбум $\rightarrow$ нікель $\rightarrow$ цинк $\rightarrow$ купрум $\rightarrow$ ферум $\rightarrow$ кадмій.

Найвище значення КБП кадмію міскантусом спостерігали у контрольному варіанті досліді, найнижче – за внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$.

Максимальні КБП для нікелю і плюмбуму відзначено після внесення ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, а кобальту і феруму – після внесення ОСВ у дозі 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$. Найвищі значення КБП цинку і купруму встановлено за внесення у ґрунт ОСВ у нормі 20 т/га і $N_{50}P_{52}K_{74}$.

Найнижчі КБП нікелю, плюмбуму і кобальту, міскантусом зафіксовані у контрольному варіанті досліді, а кадмію – у варіанті, де вносили мінеральні добрива $N_{90}P_{90}K_{90}$. Мінімальні КБП цинку і купруму встановлено після внесення компосту у дозі 30 т/га і внесення добрива $N_{30}K_{55}$, феруму – після внесення добрива $N_{90}P_{90}K_{90}$.

КБП міскантуса зростає у ряді елементів: кобальт $\rightarrow$ нікель $\rightarrow$ плюмбум $\rightarrow$ цинк $\rightarrow$ купрум $\rightarrow$ ферум $\rightarrow$ кадмій.

Максимальні КБП нікелю, плюмбуму і кобальту топінамбуром спостерігали за внесення ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, кадмію, цинку, феруму, купруму – після внесення ОСВ 20 т/га і $N_{50}P_{52}K_{74}$.

Мінімальні значення КБП топінамбуром кадмію, цинку, феруму, купруму встановлено за внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$, нікелю і кобальту – у контрольному варіанті, плюмбуму – після внесення у ґрунт компосту у дозі 30 т/га і добрива $N_{30}K_{55}$ (рис.5.40) [319].

КБП топінамбура зростає у ряді елементів: кобальт $\rightarrow$ нікель $\rightarrow$ плюмбум $\rightarrow$ цинк $\rightarrow$ купрум $\rightarrow$ ферум $\rightarrow$ кадмій.

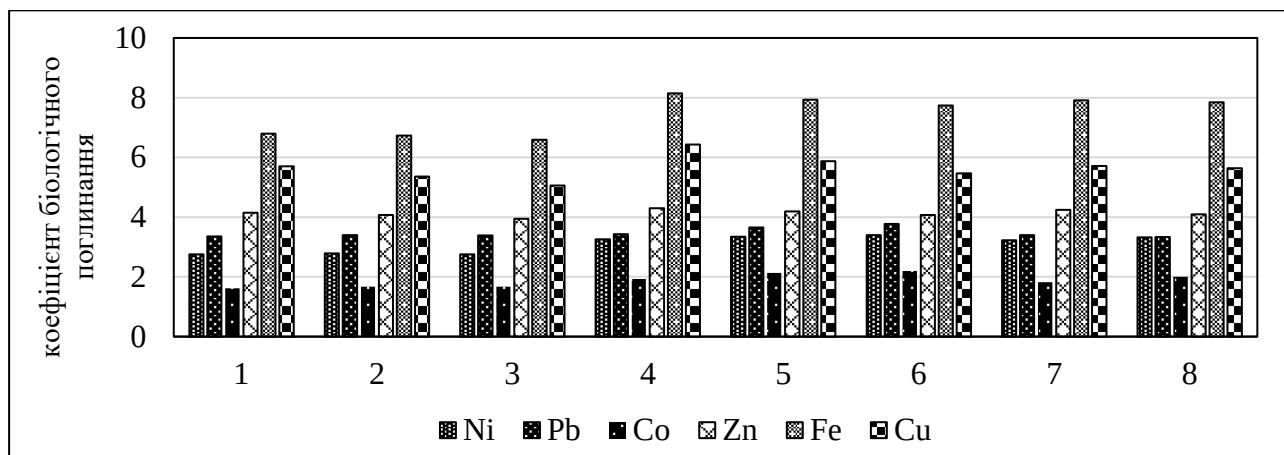


Рис.5.40 Коефіцієнти біологічного поглинання важких металів топінамбуром після внесення у ґрунт ОСВ і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Найвищий КБП кадмію, цинку, купруму сильфією пронизанолисто відзначено у варіанті внесення ОСВ у дозі 20 т/га, нікелю і кобальту – за внесення після внесення ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, феруму – за внесення компосту у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$, плюмбуму – у контрольному варіанті та за внесення компосту у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$.

Найнижчі КБП феруму, кадмію, нікелю, плюмбуму сильфією пронизанолистою відзначено після внесення у ґрунт добрива $N_{90}P_{90}K_{90}$, кобальту, цинку – у контрольному варіанті дослідів, купруму – за внесення компосту у нормі 30 т/га і $N_{30}K_{55}$.

КБП сильфії пронизанолистої зростає у ряді елементів: кобальт → нікель → плюмбум → цинк → купрум → ферум → кадмій.

Біогеохімічна активність виду зростає у ряді енергетичних рослин: верба → міскантус → світчграс → сильфія → топінамбур

У всіх варіантах дослідів до елементів енергійного накопичення належить кадмій, до елементів сильного накопичення належать нікель, плюмбум, цинк, ферум, купрум і кобальт [322].

Найвищий коефіцієнт біологічного накопичення нікелю і плумбуму вербою енергетичною встановлено після внесення 60 т/га ОСВ, кобальту і купруму – за внесення ОСВ у дозі 80 т/га, кадмію, цинку і феруму – у контрольному варіанті (рис.5.41).

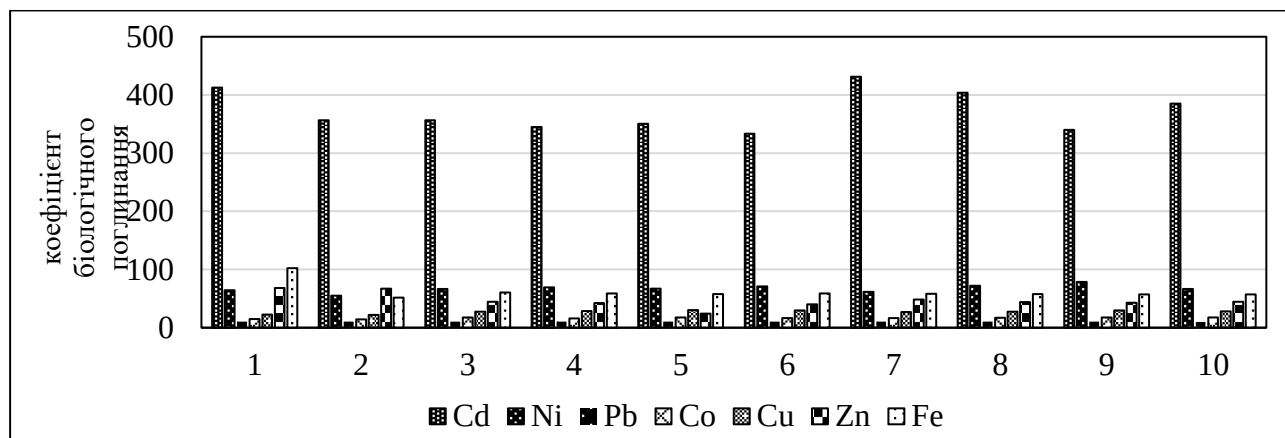


Рис.5.41 Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів вербою енергетичною після повторного внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Найнижчі КБН нікелю, купруму, феруму і кобальту вербою відзначено за внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$, кадмію – після внесення ОСВ 60 т/га, плумбуму – 40 т/га, цинку – 80 т/га.

Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів вербою зростають у ряді елементів: плумбум → кобальт → купрум → цинк → ферум → нікель → кадмій.

Відзначено максимальний КБН нікелю і купруму світчґрасом за внесення ОСВ 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, плумбуму – після внесення у ґрунт ОСВ в дозі 20 т/га і $N_{50}P_{52}K_{74}$, кобальту – ОСВ у нормі 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$ та 40 т/га ОСВ і $N_{10}P_{14}K_{58}$, кадмію, цинку і феруму – у контрольному варіанті дослідів (рис.5.42).

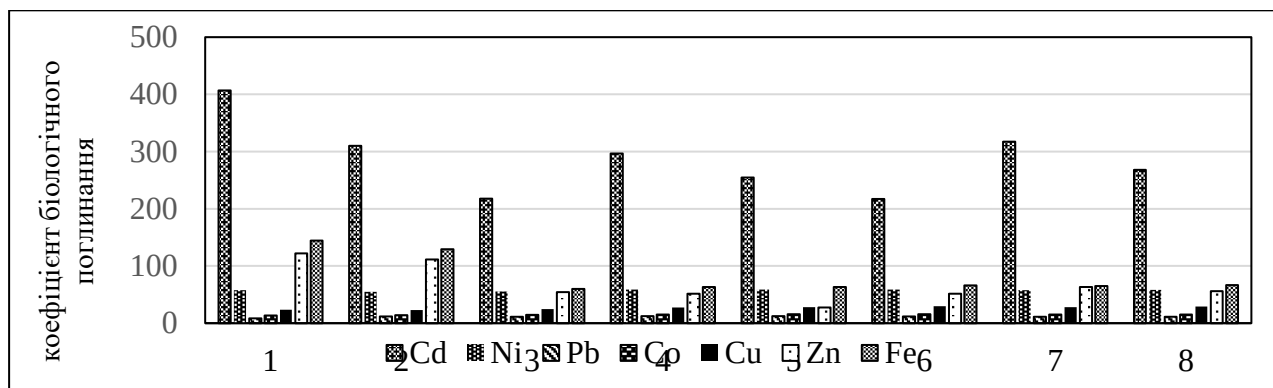


Рис.5.42 Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів світчграсом після повторного внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Найнижчий коефіцієнт біологічного накопичення кадмію світчграсом зафіксовано за внесення ОСВ 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, нікелю і купруму – $N_{60}P_{60}K_{60}$, кобальту і плюмбуму – у контрольному варіанті, цинку і феруму – після внесення у ґрунт ОСВ в дозі 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$. Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів світчграсом зростають у ряді елементів: плюмбум → кобальт → купрум → цинк → нікель → ферум → кадмій. КБН плюмбуму і кобальту максимальний після внесення ОСВ 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$, нікелю і цинку – після внесення у ґрунт компосту у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$, купруму – за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, кадмію і феруму – у контрольному варіанті досліді (рис.5.43).

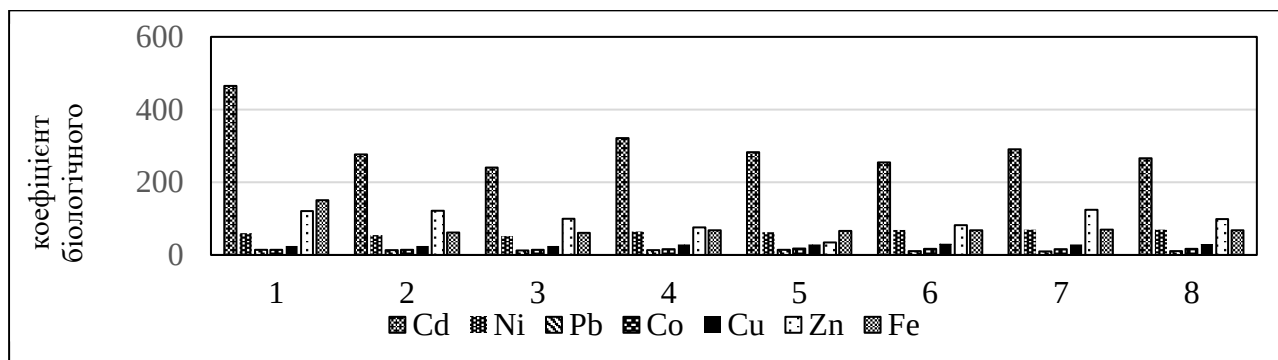


Рис.5.43 Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів топінамбуром після повторного внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Найнижчі КБН кадмію, феруму, нікелю і кобальту топінамбуром відзначено за внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$, плюмбуму – компосту у нормі 20 т/га $N_{50}P_{16}K_{67}$, купруму – $N_{60}P_{60}K_{60}$, цинку – ОСВ у дозі 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$.

Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів топінамбуром зростають у ряді елементів: плюмбум → кобальт → купрум → нікель → ферум → цинк → кадмій [317].

Максимальні КБН плюмбуму характерні для сильфії пронизанолистої за норми внесення ОСВ 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$, нікелю – компосту 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$, купруму – компосту 30 т/га і $N_{30}K_{55}$, кобальту – ОСВ 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$, кадмію, цинку і феруму – у контрольному варіанті досліду .

Найнижчі КБН нікелю, феруму і плюмбуму відзначено за внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$, купруму – $N_{60}P_{60}K_{60}$, цинку – ОСВ 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$, кадмію – за внесення у ґрунт ОСВ в дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, кобальту – у контрольному варіанті досліду [317].

Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів сильфією пронизанолистою зростають у ряді елементів: плюмбум → кобальт → купрум → нікель → цинк → ферум → кадмій.

Найвищі КБН кадмію, нікелю і плюмбуму характерні для міскантуса характерні у контрольному варіанті, феруму – після внесення у ґрунт $N_{60}P_{60}K_{60}$, купруму – за внесення у ґрунт ОСВ 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$, кобальту – після внесення ОСВ дозою 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$, цинку – у контрольному варіанті досліду [318].

Найнижчі КБН кадмію, феруму і кобальту міскантусом зафіксовані за внесення $N_{90}P_{90}K_{90}$, нікелю – компосту у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$, цинку – за внесення ОСВ у дозі 30 т/га і $N_{30}P_{33}K_{66}$, купруму – після внесення у ґрунт добрива $N_{60}P_{60}K_{60}$, плюмбуму – після внесення у ґрунт компосту у дозі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$.

Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів міскантусом зростають у ряді елементів: плюмбум → кобальт → купрум → нікель → цинк → ферум → кадмій. У випадку з усіма енергетичними рослинами до елементів

інтенсивного поглинання належать купрум, плюмбум і кобальт, до елементів дуже інтенсивного поглинання належить кадмій, цинк, ферум і нікель [319].

Встановлено наявність позитивних кореляційних залежностей між концентрацією рухомих форм важких металів у ґрунті під плантацією верби та золі верби (табл. 5.38).

Таблиця 5.38

Кореляційні залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та золі верби після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

ґрунт	зола верби						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,95	0,90	0,93	0,94	0,91	0,97	0,94
Cd	0,87	0,95	0,95	0,91	0,78	0,90	0,80
Ni	0,70	0,67	0,73	0,70	0,56	0,74	0,58
Co	0,80	0,89	0,88	0,87	0,69	0,86	0,72
Cu	0,31	0,32	0,37	0,32	0,06	0,32	0,10
Zn	0,92	0,82	0,86	0,88	0,66	0,92	0,75
Fe	0,69	0,64	0,69	0,70	0,86	0,71	0,78

Найтісніші взаємозв'язки встановлено між кількістю плюмбуму у ґрунті та вмістом кобальту у рослині ($r=0,97$). Кадмій проявляє найбільший синергічний вплив на акумуляцію нікелю і плюмбуму вербою, цинк – кадмію і кобальту, ферум – цинку, нікель – кобальту, а кобальт – нікелю.

Найменші коефіцієнти кореляції відзначені між концентрацією купруму у ґрунті та усіма елементами у рослині [322].

Найвищі позитивні кореляційні взаємозв'язки відзначено між вмістом кобальту у ґрунті та плюмбуму і цинку у золі топінамбура (табл. 5.39). Нікель, кадмій і ферум проявляють синергізм щодо поглинання цинку рослиною, а плюмбум – кадмію.

Таблиця 5.39

Кореляційні залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та золі топінамбура після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

ґрунт	зола топінамбура						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,71	0,70	0,64	0,68	0,70	0,69	0,68
Cd	0,72	0,72	0,82	0,72	0,86	0,78	0,67
Ni	0,78	0,77	0,86	0,78	0,90	0,83	0,72
Co	0,72	0,73	0,92	0,75	0,92	0,82	0,63
Cu	0,20	0,20	0,18	0,21	0,18	0,19	0,22
Zn	0,49	0,49	0,57	0,54	0,48	0,57	0,46
Fe	0,65	0,64	0,61	0,63	0,72	0,64	0,65

Середні позитивні взаємозв'язки встановлено між вмістом цинку у ґрунті та концентрацією металів у золі топінамбуру. Слабкі зв'язки виявлені між купрумом у ґрунті та цим елементом у рослині [320]. Найвищі кореляційні взаємовпливи встановлено між концентрацією плюмбуму, кобальту у ґрунті під плантацією міскантуса та вмістом нікелю у золі рослини (табл. 5.40).

Кадмій і нікель проявляють максимальний синергічний ефект на акумуляцію нікелю рослиною, цинк і купрум – феруму, ферум – цинку. Найменші коефіцієнти кореляції виявлені між купрумом у ґрунті та елементами у рослині.

Таблиця 5.40

Кореляційні залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та золі міскантуса після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

ґрунт	зола міскантуса						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,75	0,96	0,91	0,76	0,90	0,88	0,71

1	2	3	4	5	6	7	8
Cd	0,33	0,54	0,43	0,30	0,51	0,39	0,26
Ni	0,79	0,94	0,87	0,80	0,92	0,88	0,74
Co	0,80	0,96	0,88	0,81	0,93	0,89	0,76
Cu	0,23	0,17	0,16	0,23	0,25	0,26	0,38
Zn	0,67	0,73	0,66	0,69	0,72	0,74	0,80
Fe	0,83	0,84	0,75	0,81	0,85	0,77	0,79

Найвищий коефіцієнт кореляції встановлено між вмістом феруму у ґрунті під плантацією свічграсу та концентрацією плюмбуму у золі рослини (табл. 5.41). Плюмбум, кадмій, кобальт, цинк проявляють максимальний синергічний вплив на поглинання кобальту рослиною. Найменші коефіцієнти кореляції виявлені між купрумом у ґрунті та елементами у рослині [316].

Таблиця 5.41

Кореляційні залежності між вмістом рухомих форм ВМ у ґрунті та золі свічграсу після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2019 рр.

ґрунт	зола свічграсу						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,82	0,87	0,80	0,73	0,81	0,92	0,88
Cd	0,83	0,92	0,76	0,80	0,90	0,94	0,93
Ni	0,80	0,92	0,89	0,81	0,90	0,97	0,93
Co	0,88	0,91	0,74	0,80	0,86	0,94	0,93
Cu	0,09	0,15	0,33	0,20	0,27	0,21	0,13
Zn	0,63	0,72	0,57	0,71	0,71	0,73	0,62
Fe	0,47	0,73	0,99	0,68	0,75	0,82	0,72

Найвищий коефіцієнт кореляції встановлено між вмістом нікелю у ґрунті під насадженнями сільфії пронизанолистої та вмістом кобальту у золі рослини (табл. 5.42).

Таблиця 5.42

Коефіцієнти кореляційної залежності між вмістом ВМ у ґрунті та золі сільфії пронизанолистої після внесення ОСВ, середнє за 2016 – 2022 рр.

ґрунт	зола сільфії пронизанолистої						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Pb	0,48	0,57	0,63	0,49	0,57	0,72	0,41
Cd	0,75	0,84	0,89	0,75	0,81	0,93	0,67
Ni	0,93	0,97	0,98	0,93	0,96	0,99	0,89
Co	0,88	0,95	0,97	0,88	0,92	0,97	0,83
Cu	0,20	0,20	0,22	0,21	0,18	0,18	0,21
Zn	0,66	0,70	0,69	0,71	0,67	0,69	0,65
Fe	0,66	0,65	0,68	0,67	0,70	0,72	0,66

Максимальною синергічною дією на поглинання кобальту рослиною відзначаються плумбум, нікель, кобальт, ферум.

Цинк проявляє найвищу синергічну здатність на поглинання купруму рослиною, а купрум відзначається найнижчими кореляційними коефіцієнтами з хімічними елементами у рослині [319].

Згідно отриманих результатів досліджень у разі вирощування фітоенергетичних культур за внесення осаду стічних вод.

Висновки до розділу 5

Встановлено закономірності зміни вмісту важких металів у дерново-підзолистому ґрунті, у зеленій масі та корневих системах верби енергетичної залежно від норми внесення ОСВ та компостів на його основі.

1. Найвищий уміст важких металів спостерігали після внесення ОСВ у дозі 80 т/га та компосту на основі осаду стічних вод і тирси (3:1) у дозі 60 т/га.

2. За результатами лабораторних досліджень у варіанті 5 (ОСВ — 80 т/га) уміст кадмію у зеленій масі верби енергетичної становить 1,71 мг/кг сухої речовини, нікелю — 1,57, свинцю та кобальту — 0,90 та 0,95 мг/кг відповідно. У корневих системах рослин у цьому варіанті міститься 1,84 мг/кг кадмію, 1,67 — нікелю, 0,99 — свинцю та 1,08 мг/кг кобальту. Відповідно, найменший уміст важких металів спостерігається у варіанті 7 (компост (ОСВ + солома (3:1) — 20 т/га).

3. Внесення під міскантус ОСВ як добрива у дозі 20 – 40 т/га та компостів зі соломою у співвідношенні 3 : 1 зумовлює певне підвищення у ґрунті вмісту міцнозв'язаних і рухомих форм важких металів порівняно варіантом без внесення добрив.

4. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів у підзолистому ґрунті за внесення найвищої норми ОСВ зростають у ряді: $\text{Co} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{Cd}$, а рухомих форм — у ряді: $\text{Cu} \rightarrow \text{Co} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Cd} \rightarrow \text{Zn}$. Також внесення ОСВ сприяє транслокації важких металів у корневих системах і надземних органах міскантуса у ряді: $\text{Co} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{Zn} \rightarrow \text{Cd}$, викликає певне підвищення внутрішньо-тканинного забруднення рослин переважною більшістю важких металів, крім Cd.

5. Однак такий вплив є несуттєвим, оскільки інтегральний показник забруднення ґрунтового покриву у варіантах, де вносили різні види добрив у нормі еквівалентній $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$, коливається в незначних межах 20 – 23, з тенденцією до підвищення у варіанті з найвищою дозою внесення 40 т/га ОСВ та компенсаційною дозою мінеральних добрив.

Основні наукові результати розділу відображені авторкою у публікаціях експериментального характеру [112 – 114, 312, 318] тощо.

РОЗДІЛ 6

ВПЛИВ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД НА ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

Досягнення високої продуктивності агрофітоценозів, що передбачає виконання певних важливих умов за раціональних затрат на вирощування є визначенням оптимальних норм добрив. Оптимальне застосування добрив дозволяє забезпечити рослини необхідними поживними речовинами, підвищити врожайність та покращити якість біомаси.

6.1 Зміна біометричних показників фітоенергетичних культур під впливом застосування різних доз і схем внесення ОСВ

У вирішенні проблеми заміщення традиційних джерел енергії альтернативними важливе місце займає біомаса. Актуальність розроблення альтернативних методів здобуття енергетичної біомаси зумовлена обмеженими можливостями її отримання з лісових насаджень. Одним з можливих шляхів є вирощування енергетичної деревної маси на спеціальних енергетичних плантаціях [231, 344]. Це особливо актуально в районах, де найбільш поширеними культурами є різновиди та гібриди верби прутовидної (*Salix viminalis* L.), особливо в умовах обмеженої зайнятості сільського населення. У наших дослідженнях, чотирирічну вербу восени обрізали так, щоб над поверхнею ґрунту залишилося 8 – 10 см стовбура.

Навесні наступного року після видалення підсохлої вегетативної маси та після закінчення стійких морозів, перед початком проростання вербових живців, ґрунт у міжряддях розпушували вдосконаленим методом фрезерного культиватора та повторно вносили ОСВ і компости відповідно схеми досліду. Обробіток було виконано так, щоб поверхневий шар не був глибоким, при цьому добрива були покриті шаром ґрунту товщиною до 5 – 8 см. Протягом першого

вегетаційного періоду після повторного внесення органічних добрив було проведено ретельний догляд та захист від бур'янів до досягнення пагонами верби висоти понад 1,0 м. Висота рослин через сильну кореневу систему швидко збільшувалась, і уже протягом двох місяців в середньому становила 83 – 101 см у варіантах, де вносили повторно свіжий ОСВ у нормі 40 – 80 т/га. У випадку повторного внесення компостів з ОСВ та соломою (у співвідношенні 3 : 1) дозою 20 – 60 т/га (варіанти 7 – 9) висота пагонів становила 99 – 105 см. Із кореня відросло більше пагонів, збільшилась листкова маса, порівняно з попереднім роком (табл.6.1) [315].

Таблиця 6.1

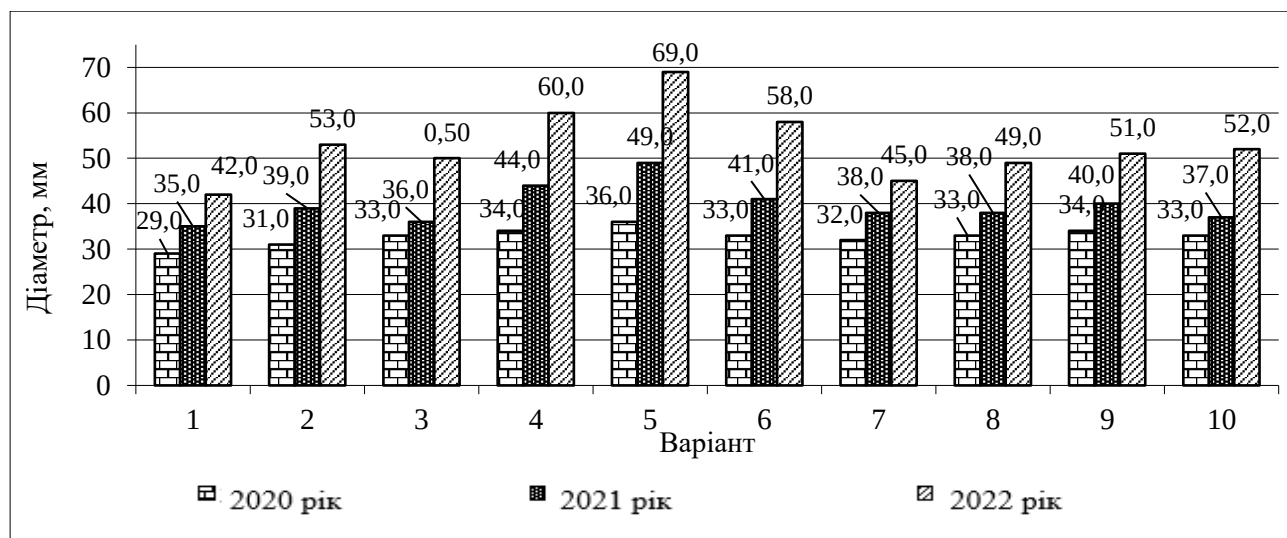
**Висота пагона верби енергетичної залежно від повторного внесення
удобрення на основі осаду стічних вод, 2020 – 2022 рік**

Варіант	Висота пагона верби енергетичної, см				
	Місяць				
	травень	червень	липень	серпень	вересень
1. Без добрив – контроль	41	59	72	95	111
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	60	91	99	118	149
3. ОСВ – 40 т/га	55	83	91	102	121
4. ОСВ – 60 т/га	64	86	98	107	133
5. ОСВ – 80 т/га	75	101	132	141	190
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	73	102	150	167	198
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	65	99	106	101	156
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	77	104	116	130	177
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	74	105	127	121	176
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	72	110	132	119	189
НІР _{0,05}	1	4	4	3	3

У цей період найвищі головні пагони верби енергетичної визначено у варіанті, де вносили повторно компост на основі ОСВ + соломи (3:1) та цементний пил 10 % близько 110 см, що на 51 см більше за контроль без добрив [456]. Зважаючи на вологість та температурний режим погодних умов, рослини підросли на 36 – 80 см.

У вересні висота головного пагона верби енергетичної досягала 198 см у варіанті, де повторно вносили компост на основі ОСВ та тирси (3:1) у дозі 60 т/га.

Інтенсивним розвитком верби енергетичної відзначався варіант, на фоні повторного внесення ОСВ та тирси у співвідношенні 3 : 1 у нормі 60 т/га, пагони мали висоту, що на 8 см менше, ніж за повторного внесення ОСВ в дозі 80 т/га. Незважаючи на досить посушливу весну 2020 року, динаміка розвитку верби енергетичної була достатньо інтенсивною. З ростом та розвитком верби енергетичної збільшувався і діаметр пагона (рис.6.1) [316].



:

1. Контроль – без добрив;
2. Мінеральні добрива – $N_{100}P_{100}K_{100}$;
3. ОСВ – 40 т/га;
4. ОСВ – 60 т/га;
5. ОСВ – 80 т/га;
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га;

7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га;
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га;
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га;
10. Компост (ОСВ + солома (3:1)) + цементний пил 10 % – 40 т/га.

Діаметр основних пагонів у 2021 році після повторного внесення мінеральних добрив та свіжого ОСВ коливався в межах 53 – 69 мм. Діаметр основного пагона був меншим, де повторно вносили компости на ОСВ та тирси і соломи порівняно з варіантом із повторним внесенням свіжого ОСВ (рис. 6.2)



Рис. 6.2 Процес вимірювання діаметра основних пагонів верби енергетичної після повторного внесення осаду стічних вод, 2020 – 2022 роки

Висновки із проведених досліджень полягають в тому, що у випадку збільшення дози повторного внесення ОСВ відбувалося зростання як висоти, так і діаметра пагонів енергетичної верби. Зокрема, після внесення ОСВ у нормі 80 т/га висота пагона і діаметр верби енергетичної становили відповідно 705 і 6,9 см. [315].

Дослідження та спостереження за вегетаційним періодом у енергетичних культурах, таких як міскантус, світчграс та сільфія пронизанолиста починалось із місяця квітня - травня, залежно від погодніх умов. У варантах, де вносили добрива на основі ОСВ та мінеральних добавок, розвиток рослин розвивалися помітно швидше, ніж у варіантах без добрив. З проведених спостережень рослини міскантуса за різними варіантами внесення ОСВ під час садіння ризом сходи з'являються на 25 – 30 день. Зазвичай, проростає тільки один пагін, рідше – два та більше. Що залежить від умов навколишнього середовища (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Тривалість міжфазних та вегетаційного періодів міскантуса залежно від доз внесення добрив, середні значення за 2016-2022 рр. [316].

Варіант	Фази росту і розвитку рослини, діб							
	Сходи	Три листки	Кущіння	Вихід у трубку	Викидання волоті	Цвітіння	Закінчення вегетації	Тривалість вегетаційного періоду
Без добрив - контроль	30	5	29	11	31	64	28	198
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	28	4	28	10	30	61	30	191
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	27	4	28	10	29	59	30	187
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	28	4	27	10	28	59	28	184
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	27	4	26	10	28	60	29	184
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	25	4	25	9	27	60	30	180
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	26	5	27	10	28	61	30	187
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	25	4	26	10	28	61	30	198

Після цього етапу настає фаза розетки трьох листків. Ця фаза була відмічена під час спостережень за різними варіантами і тривала 4 – 5 днів. Після неї розпочинається активне зростання пагонів, яке може тривати до пізньої осені. Цей процес безпосередньо пов'язаний з розвитком кореневища, що починається з кущіння. Загалом, в досліджуваних варіантах тривалість цього етапу становить від 26 до 29 днів. Найвищий показник кущіння спостерігали у контрольному варіанті, а найменше - у варіантах, де вносили ОСВ у нормі 40 т/га.

Вихід в трубку характеризується появою вузлів на стеблі, що складало від 9 до 11 діб. Протягом досліджуваного часу фаза викидання волоті наставала протягом вересня - жовтня залежно від норми внесення ОСВ. Після викидання

волоті наступає фаза цвітіння, що становить за варіантами досліджень від 59 до 64 діб. Під час осіннього періоду, коли середньодобова температура повітря опуститься нижче 10°C, через зміни в ґрунтово-кліматичних умовах ріст та розвиток рослин призупиняються, а листя та стебла починають всихати. Вегетаційний період з найбільшою кількістю діб 198 відмічений у варіанті 8 (Компост ОСВ + солома (3:1) – 30 т/га + N₃₀K₅₅). Рослини міскантусу у цьому випадку формують вегетативну масу внаслідок розвитку ризом з корінцем, який спершу росте вертикально вниз, а потім виходить на поверхню, перетворюючись на паросток. Після виростання перших сходів, молоді рослини переходять на власне кореневе живлення. Вони розвивають листки та за допомогою фотосинтезу виробляють необхідні органічні речовини для подальшого росту та розвитку (таблиця 6.3) [318].

Таблиця 6.3

Біометричні та структурні показники рослини міскантусу залежно від доз внесення ОСВ [316].

Варіант	Висота головного пагона, см	Кількість листіків на головному пагоні, шт	Кількість стебел, шт	Діаметр стебла, мм	Кількість міжвузлів на стеблі, шт
Без добрив - контроль	226,0	11	9	9,7	5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	229,0	12	9	10,0	5
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	231,0	12	10	10,3	6
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	230,0	12	9	10,1	6
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	237,0	13	10	10,9	6
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	245,0	14	11	11,1	6
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	230,0	13	10	10,5	5
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	234,0	13	10	10,8	6

Результати біометричних вимірювань для різних 9 варіантів внесення добрив показали збільшення висоти головного пагона від 226 см у контрольному

варіанті до 245 см у варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$). Головний пагін характеризується високою механічною міцністю і містить запас поживних речовин. На пагонах утворюються листя і квітки.



Рис.6.3 Біометричні показники міскантусу залежно від доз внесення ОСВ

Від кількості листків на головному пагоні залежить загальне накопичення біомаси. Згідно з оцінками в таблиці, найбільшу кількість листя на пагоні 14 шт. встановлено у варіанті з ОСВ – 40 т/га. Міцність пагонів та врожайність залежить від діаметра пагона, який є найбільшим у випадку внесення ОСВ у нормі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) від 10,1 до 11,1 мм відповідно. Крім цього, міцності стебла зростає зі збільшенням кількості міжвузлів, які, за нашими спостереженнями, становлять 5 – 6 сегментів на стебло. Міскантус – багаторічна рослина, трав'янисті однорічники якого зрізають, а кореневища залишають у землі. З припиненням морозів відновлюється ріст і вегетація [311 - 316].

В даний час в нашій країні набуває поширення енергетична культура світчграс, вирощування якої не потребує значних ресурсних вкладень [78]. У наших дослідженнях біометричні показники цієї культури значною мірою змінювалися під впливом внесення ОСВ (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

Біометричні та структурні показники рослин світчграсу залежно від норм внесення ОСВ, (середнє за 2016 - 2022 рр).

Варіант	Висота рослин, см	Кількість			Довжина прапорцевого листка, см
		стебел, шт/ м.п.	листіків, шт/рослину	листіків, шт/м.п.	
Без добрив - контроль	136	315	4	1384	33
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	141	323	4	1412	34
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	148	336	5	1466	35
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	156	351	5	1519	34
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	167	367	6	1583	37
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	180	380	7	1649	41
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	164	361	5	1569	38
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	172	369	5	1594	40
НІР _{0,05}	21	13	1	11	2

Відповідно до отриманих результатів перший з біометричних показників - висота рослин світчграсу склав, від 136 см в контрольному варіанті до 180 см у варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈). У варіантах із застосуванням компосту в дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7, 8) висота рослин склала: 164 – 172 см [317].

Найбільшу кількість листків на рослині у кількості 7 шт. бачимо у варіанті 6, де вносили ОСВ у дозі 40 т/га, що переважало контрольний варіант на 3 шт/рослину. Якщо порівнювати із загальною кількістю листків рослин світчграсу, то їх кількість збільшується із об'ємом внесеного добрива (рис.6.4)



Рис.6.4. Рослини світчграсу залежно від доз внесення ОСВ

У випадку внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) разом із мінеральними добавками кількість листків становить 1519 – 1649 шт/м.п., що на 135 – 265 шт/м.п., переважає контрольний варіант 1. Зокрема, внесення компостів на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у нормі 20 – 30 т/га сприяло збільшенню кількості листків рослин світчграсу в межах 1569 – 1594 шт/м.п., що на 185 – 210 шт/м.п. перевищує контрольний варіант без внесення добрив [313].

Біометричні показники рослин сільфії пронизанолистої також зростали на ділянках із внесенням ОСВ і значно переважали контроль. Висота рослини змінювалася відповідно до варіантів внесення добрив, а саме у разі внесення свіжого ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіант 4 – 6) досягала 229 – 267 см відповідно, що на 19 – 57 см перевищувало контроль. Проте, за внесення компостів на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у нормі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) показники залишаються досить високими порівняно з контролем і становлять 235 – 248 см відповідно, що на 19 см менше ніж у варіанті із максимальною дозою ОСВ (варіант 6) (табл. 6.5).

Таблиця 6.5

**Біометричні показники сільфії пронизанолистої після внесення ОСВ,
середні значення за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Висота рослин, см	Кількість листіків, од	Діаметр стебла біля основи, см	Діаметр стебла на висоті, см	Середня довжина листка, см	Середня ширина листка, см
Без добрив - контроль	210	14	1,1	1,0	24,8	12,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	224	15	1,1	1,0	25,1	12,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	236	15	1,2	1,1	25,6	12,9
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	229	15	1,2	1,2	26,4	13,6
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	246	16	1,2	1,2	26,9	14,1
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	267	17	1,3	1,2	27,5	14,9
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	235	16	1,2	1,2	26,0	13,4
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	248	16	1,3	1,2	27,0	14,2
HP _{0,05}	5	1	0,4	0,4	0,1	0,2

Кількість листків у рослин сільфії пронизанолистої змінювалась відповідно до варіантів внесення добрив від 14 – у контрольному варіанті до 17 після внесення максимальної дози ОСВ 40 т/га та N₁₀P₁₄K₅₈

Слід відзначити, що діаметр стебла біля основного пагона рослин на висоті 1 м був найбільшим на ділянках із застосуванням добрива на основі ОСВ у нормі 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈ (варіант 6) рівний 1,3 см, а у варіантах із внесенням компостів ОСВ + солома (3:1) – 20 т/га + N₅₀P₁₆K₆₇ та ОСВ + солома (3:1)– 30 т/га + N₃₀K₅₅ діаметр стебла біля основи рослин становив 1,2 та 1,3 , що порівняно з контрольним варіантом становило 0,1 – 0,2 см.

Середня довжина і ширина листків на рослинах у контрольному варіанті 1 становить 24,8 та 12,1 відповідно, а після внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 – 3) збільшується до 25,1 – 25,6 см та 12,6 – 12,9 см відповідно (рис.6.5) [319].



Рис.6.5. Сильфія пронизанолиста після внесення ОСВ

Слід звернути увагу, що середня довжина і ширина листків на рослинах залишалася найбільшою у варіантах 6 та 8 (ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$ та компост ОСВ + солома (3:1) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$) і становила 27,0 – 27,5 см та 14, 2 – 14,9 см відповідно (рис. 6.6).



Рис. 6.6. Сканований листок сильфії пронизанолистої для визначення площі листка

Топінамбур може виробляти велику кількість біомаси на гектар, а отже, має високий потенціал для вирощування як енергетичної культури. Розвиток рослин відбувався швидше у варіантах, де вносили ОСВ та мінеральні добрива. У варіантах з внесенням мінеральних добрив $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2, 3) спостерігали вищу динаміку росту рослин порівняно з контрольним варіантом (без внесення добрив), але меншу порівняно з іншими варіантами з внесенням ОСВ та мінеральних добрив у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6). За результатами досліджень, внесення ОСВ сприяє покращенню рівня мінерального живлення культури топінамбура, чим сприяє росту та розвитку рослин у висоту (табл. 6.6). Висота рослин за фенологічними фазами від 4-го листка у контрольному варіанті в межах 24,3 см і збільшувалась до 34,9 см у варіантах з внесенням $N_{90}P_{90}K_{90}$ (варіант 3), за внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) висота рослин від 4-го листка становить в межах 41,7 – 49,9 см (табл. 6.6) [318].

Таблиця 6.6

**Динаміка процесів росту топінамбура залежно від внесення добрив
(в середньому за 2017 – 2022 рр)**

Варіант	Висота рослин за фенологічними фазами					
	4-й	8-й	15-й	Бутоні- зація	Цвіті н-ня	Підсихання нижніх листіків
	листок					
	см					
Без добрив - контроль	24,3	75,0	123,1	234,6	237,1	238,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	30,5	84,3	133,9	245,0	248,1	249,0
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	34,9	86,0	139,4	254,3	256,8	258,0
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	41,7	93,7	140,2	263,5	265,2	266,5
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	45,2	99,3	148,7	266,9	269,0	270,5
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	49,9	101,4	150,0	270,2	273,3	274,9
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	42,5	92,7	141,4	267,5	270,0	272,3

Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	48,2	103,8	147,6	270,8	272,2	276,4
НІР _{0,05}	2,4	3,6	4,2	3,0	4,2	4,2

Зокрема, після внесення компостів на основі ОСВ та соломи у дозі 20 – 30 т/га висота рослин була нижчою, порівнюючи з варіантами, де вносили свіжий ОСВ (варіант 4 – 6), але залишалась більшою, порівняно з варіантом без добрив (варіант 1).

У фазу бутонізації, цвітіння та на завершальних етапах вегетації, різниця у висоті рослин між варіантами, де вносили ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6), та варіантами, де вносили компости на основі ОСВ та соломи у дозі 20 – 30 т/га, проявилася в інтенсивному зростанні рослин (варіанти 7 і 8) та переважанні висоти рослин на 1,8 – 3,5 см, порівняно з контролем у цих варіантах (варіанти 7 і 8) різниця становила від 34,1 см до 38,5 см (рис.6.7).



Рис.6.7. Динаміка росту топінамбура залежно від внесення ОСВ

У всіх варіантах внесення добрив без винятку від початку вегетації до фази п'ятнадцятого листка рослини ростуть повільно, а потім ростові процеси починають пришвидшуватись.

В наших дослідженнях довжина листка топінамбура змінювалась відповідно до доз внесення ОСВ від 20 до 40 т/га (4 – 6 варіанти) від 18,7 до 19,4

см, або на 0,6 – 1,3 см переважало контроль (варіант 1). Скидання бутона і процес цвітіння та бутонізації у контрольному варіант 1 проходить на висоті 234,6 та 237,1 см відповідно, за внесення добрив на основі ОСВ у дозі 40 т/га (варіант 6) на висоті 270,2 та 273,3 см відповідно.

За внесення компостів на основі соломи та ОСВ у дозі 1 : 3 (варіанти 7 – 8) довжина листка топінамбура коливалась в межах 18,5 – 18,9 см, що на 0,2 – 0,5 менше за варіанти, де вносили свіжий ОСВ. За всіма параметрами перевага була на боці варіантів 6 та 8 – 40 т/га ОСВ + N₁₀P₁₄K₅₈, а також компосту (зі співвідношенням ОСВ та соломи (3:1)) у дозі 30 т/га + N₃₀K₅₅), тобто найбільша ширина листка топінамбура 12,8 і 12,7 см, площа листків 167 і 165 см² відповідно, а також переважна більшість листків на рослині 64 та 62 од. відповідно (табл.6.7) [322 – 325].

Таблиця 6.7

Основні параметри листків топінамбура, середнє за 2017 – 2022 роки

Варіант	Довжина, см	Ширина, см	Площа листка, см ²	Середня кількість листоків на рослині, од
Без добрив - контроль	18,1	12,0	149	55
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	18,4	12,3	154	57
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	18,5	12,5	157	60
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	18,7	12,4	156	58
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	19,0	12,6	161	62
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	19,4	12,8	167	64
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	18,5	12,5	163	60
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	18,9	12,7	165	62
НІР _{0,05}	0,1	0,1	2	1

Площа листків збільшувалась прямопропорційно дозам внесення добрив, зокрема у варіанті з дозуванням 40 т/га та N₁₀P₁₄K₅₈ становила 167 см², що

перевищувало контроль на 18 см, але за внесення компостів на основі ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀K₅₅ площа листків становила 165 см² (рис.6.8).



Рис. 6.8. Листок топінамбура, сканований для визначення площі листка

Внесення ОСВ сприяло підвищенню інтенсивності формування асиміляційного апарату, що відображено у ступені облистяності рослин. У фазу бутонізації в контрольному варіанті ступінь облистяності сягав 58,1%. Після внесення мінеральних добрив відзначали приріст розміру на 1,1 – 3,4%. (табл. 6.8).

Таблиця 6.8

Вплив систем внесення добрив на ступінь облистяності рослин топінамбура за фазами вегетації, середні показники за 2016-2022 роки:

№ з\п	Варіант	Бутонізація	Цвітіння	Підсихання нижніх листків
		%		
1	Без добрив - контроль	58,1	46,0	32,1
2	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	59,2	48,2	33,6
3	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	61,5	49,9	34,1
4	ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	63,7	51,5	36,0
5	ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	64,5	52,2	36,5
6	ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	65,3	53,1	37,1
7	Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	64,7	52,4	36,7
8	Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	65,2	52,9	36,9
НІР _{0,05}		0,42	0,85	0,58

Після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га, спостерігали збільшення облистяності до 63,7 – 65,3%, що перевищує показники контрольного варіанта на 5,6 – 7,2%. Однак, після внесення компостів на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3 : 1, ступінь облистяності становив від 64,7 – 66,2%.

Ступінь облистяності рослин топінамбура у контрольному варіанті становив для бутонізації – 58,1%, цвітіння – 46,0% та підсихання нижніх листків – 32,1%. Після внесення мінеральних добрив $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ ступінь облистяності становила в межах 59 – 62%, цвітіння – 48 – 50%, а після внесення ОСВ та мінеральних добрив ступінь бутонізації підвищилось на 5 – 7%, ступінь цвітіння на 5,5 – 7% (рис.6.9)



Рис. 6.9. Вплив системи внесення добрив на ступінь облистяності рослин топінамбура

Загалом, слід відзначити, що внесення добрив позитивно впливало на ступінь облистяності рослин топінамбура та висоту рослин. При цьому перевагою відзначалися варіанти, де застосовували орґано-мінеральну систему внесення добрив з ОСВ у дозі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) а також компост у ОСВ + солома (3:1)) у дозі 30 т/га + $N_{30}K_{55}$ (варіант 8).

6.2 Динаміка нагромадження енергетичними культурами сирі і сухої речовини

Програмою досліджень передбачено вивчення динаміки формування біопродуктивності фітоценозів енергетичних культур, зокрема нагромадження сирі і сухої речовин. Для вивчення динаміки нагромадження біомаси відбирали зразки вегетативної маси і після висушування до постійної ваги в сушильній шафі визначали вихід біомаси сухої речовини [302].

Продуктивність верби енергетичної у разі повторного внесення ОСВ у дозі 40 – 80 т/га рівна 98 – 101 т/га, після повторного внесення компостів на основі ОСВ та тирси у дозі 60 т/га (варіант 6) продуктивність становить 102 т/га. Зокрема, внесення компостів на основі ОСВ та соломи у дозі 20 – 60 т/га (варіанти 7 – 9) продуктивність верби енергетичної другого циклу використання рівна 81 – 95 т/га (рис.6.10).



Рис. 6.10. Відновлення верби енергетичної (2-й цикл використання)

Середня продуктивність верби енергетичної після повторного внесення ОСВ та компостів на його основі, протягом другого циклу використання дослідної ділянки у контрольному варіанті рівна 41 т/га. Проте, за внесення

мінеральних добрив $N_{100}P_{100}K_{100}$ (варіант 2) середня продуктивність рівна 52,2 т/га, що на 11,1 т/га перевищує контрольний варіант. Після повторного внесення ОСВ у дозі 40 – 80 т/га (варіанти 3 – 5) середня продуктивність верби енергетичної другого циклу використання рівна 54 – 62 т/га, що на 13 – 21 т/га перевищує контроль (табл. 6.9) [304].

Таблиця 6.9

**Вплив застосування ОСВ на продуктивність біомаси верби енергетичної,
середнє за 2017 – 2022 роки**

Варіант	Продуктивність верби енергетичної, т/га				
	роки досліджень			середнє	до контролю т/га
	2017	2019	2022		
1. Без добрив – контроль	6,82	17,54	72,94	41,1	-
2. $N_{100}P_{100}K_{100}$	15,12	24,01	87,47	52,2	11,1
3. ОСВ – 40 т/га	7,94	21,55	98,51	54,0	12,9
4. ОСВ – 60 т/га	9,45	29,77	97,28	56,5	15,4
5. ОСВ – 80 т/га	14,65	41,54	100,8	62,0	20,9
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	16,56	37,66	102,1	61,8	20,7
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	9,87	27,49	80,54	51,3	10,2
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	8,54	29,03	98,13	53,9	12,8
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	9,77	26,54	95,19	56,5	15,4
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	10,23	29,04	101,7	60,0	18,9
$HN_{0,05}$	0,33	0,33	0,34	0,33	0,33

Проте, за внесення компосту на основі ОСВ та тирси у дозі 60 т/га (варіант 6) середня продуктивність верби енергетичної становила близько 62 т/га, що

дорівнює продуктивності у разі внесення свіжого ОСВ у дозі 60 т/га. Після внесення компостів на основі ОСВ та соломи у дозі 20 – 60 т/га (варіанти 7 – 9) середня продуктивність верби енергетичної становить в межах 51 – 56,5 т/га, що на 10 – 15,5 т/га перевищує контрольний варіант (без добрив) або 60 т/га рівна продуктивність після внесення компосту (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) у дозі 40 т/га. Показники продуктивності вегетативної маси вказують, що за другого циклу використання агрофітоценозів верби енергетичної обсяг біомаси плантацій є вищим за, отримані під час першого циклу використання. (табл. 6.10) [302 - 305].

Таблиця 6.10.

**Вихід сухої біомаси верби енергетичної за два
цикли використання агрофітоценозів**

Варіант	Продуктивність верби енергетичної,			
	вегетативної маси		вихід сухої маси	
	т/га			
	1	2	1	2
1. Без добрив – контроль	27,91	41,10	18,24	34,20
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	34,11	52,20	25,72	45,41
3. ОСВ – 40 т/га	32,50	54,01	25,91	50,30
4. ОСВ – 60 т/га	38,41	56,51	32,40	51,83
5. ОСВ – 80 т/га	46,62	62,06	39,41	56,61
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	42,80	61,81	35,63	50,45
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	37,93	51,33	30,87	48,82
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	41,34	53,90	34,61	51,61
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	41,91	56,51	34,60	54,53
10. Компост (ОСВ + солома (3:1)) + цементний пил 10%) – 40 т/га	39,62	60,02	32,81	48,10
НІР _{0,05}	0,42	0,34	0,31	0,37

Примітка:

1 – період вегетації 2012 – 2015 рр. – перший цикл використання плантації;

2 – період вегетації 2016 – 2022 рр. – другий цикл використання плантації.

Використання мінеральних добрив для збільшення вегетативної маси після повторного внесення становить 52,2 т/га, що складає на 11,1 т/га і більше від контрольного варіанта та на 18,1 т/га більше, ніж за першого циклу вирощування. найінтенсивніший приріст вегетативної ваги у всіх варіантах дослідів відбувався саме після повторного внесення добрив. Найвищу продуктивність верби енергетичної (54,0 – 62,0 т/га) забезпечило внесення свіжого осаду стічних вод у дозі 40 – 80 т/га. У цих варіантах показники продуктивності вегетативної маси на 12,9 – 20,9 т/га переважали аналогічний показник контрольного варіанта, або на 15,4 – 21,5 т/га більше, ніж першого циклу використання плантації. Найпродуктивнішими за виходом сухої біомаси верби енергетичної є варіанти з повторним внесенням ОСВ у дозі 80 т/га та компосту на основі ОСВ + тирса (3 : 1) – 60 т/га відповідно. Після внесення ОСВ в дозі 80 т/га вміст сухої біомаси становив 39,4 т/га, за повторного внесення – 52,6 т/га [303].

Проаналізувавши одержані результати, досліджено залежність між нагромадженням сухої маси верби для енергетичних цілей та рівнем гумусу в ґрунті (рис. 6.11) .

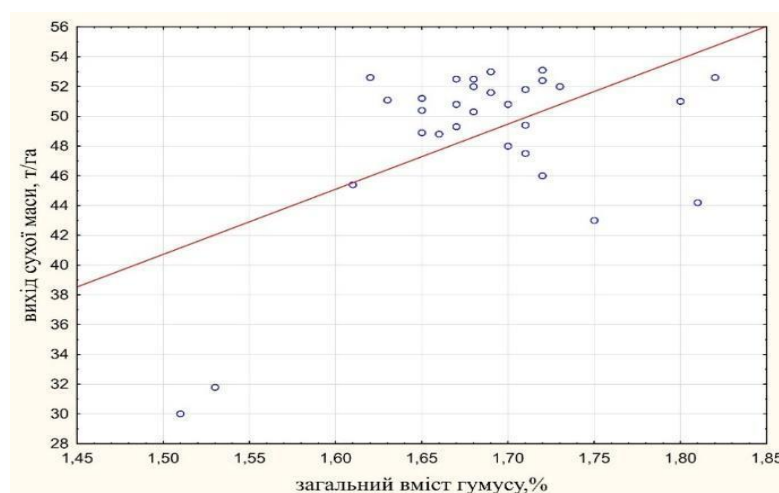


Рис. 6.11. Залежність продуктивності сухої маси верби енергетичної від умісту загального вмісту гумусу в дерново-підзолистому ґрунті

Вміст гумусу є важливим чинником, що впливає на біопродуктивність верби. Цей взаємозв'язок можна відобразити за допомогою рівняння лінійної регресії.

$$y = -24,934 + 43,7677x$$

де, y – вихід сухої маси, т/га;

x – загальний вміст гумусу в дерново-підзолистому ґрунті, %;

Зважаючи на значення коефіцієнта детермінації ($R^2 = 0,59$), можна вважати, що існує помітний кореляційний зв'язок.

Ми провели аналіз не тільки ефективності верби для виробництва енергії, враховуючи загальний вміст гумусу, але також врахували його хімічний склад. (рис. 6.12).

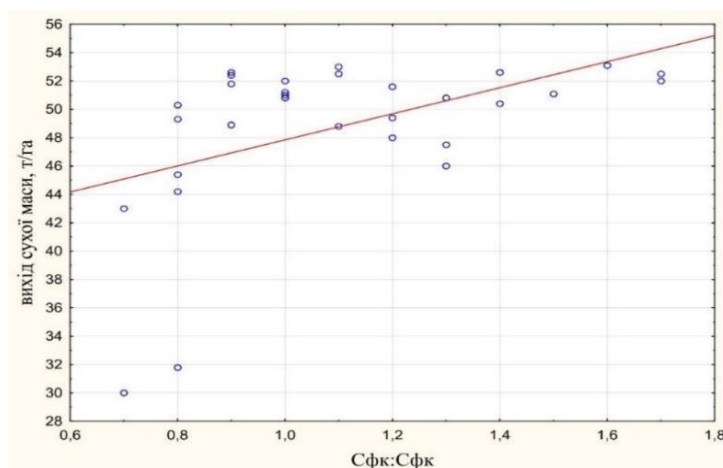


Рис. 6.12. Продуктивність сухої маси енергетичної верби має зв'язок із співвідношенням $C_{гк} : C_{фк}$ у ґрунті дерново-підзолистого типу

Співвідношення між вмістом гумусу та $C_{гк} : C_{фк}$ можна виразити у вигляді лінійної регресійної моделі таким чином:

$$y = 38,6597 + 9,1906x$$

де, y – вміст сухої маси, т/га.

x – $C_{гк} : C_{фк}$ в дерново-підзолистому ґрунті, %;

Враховуючи значення множинного коефіцієнта кореляції ($R^2 = 0,51$), можна стверджувати про помітний характер кореляційного зв'язку. Дослідження

взаємозв'язку між середньою висотою рослин та вмістом гумусу в ґрунті виявило такі закономірності (рис. 6.13).

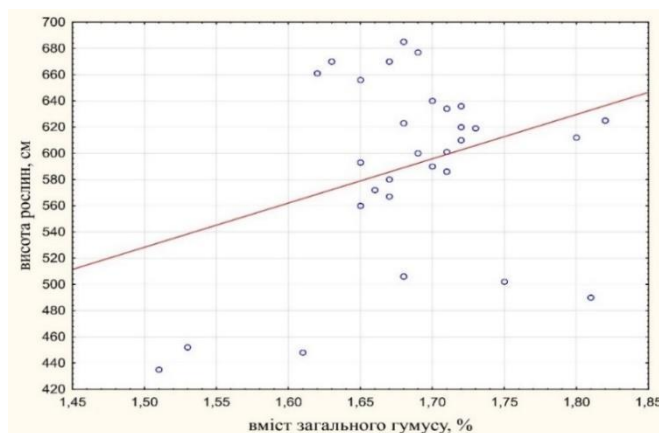


Рис. 6.13. Залежність формування висоти рослин верби енергетичної від умісту загального гумусу у дерново-підзолистому ґрунті

Можна відобразити взаємозв'язок між висотою рослин і вмістом загального гумусу в ґрунті за допомогою лінійної регресії згідно формули для визначення висоти рослин (y) в сантиметрах:

$$y = 38,6597 + 9,1906x,$$

де x – вміст загального гумусу, %

y – висота рослин, см

Враховуючи значення коефіцієнта детермінації R^2 , який дорівнює 0,55, можна стверджувати про значущість кореляційного зв'язку.

На основі аналізу біометричних показників сільфії пронизанолистої, зокрема середніх показників росту та розміру рослин за період вегетації з 2016 по 2022 роки після внесення ОСВ протягом зазначеного періоду вплив внесення ОСВ на ріст та розвиток сільфії пронизанолистої проявлявся у збільшенні загальної довжини рослин, а також на їхніх біометричних параметрах, а саме: висоті, діаметрі стебла, площі листя тощо [307].

Внесення ОСВ сприяє інтенсивному нагромадженню біомаси, в тому числі сухої речовини, забезпечуючи підвищенню продуктивності агрофітоценозів

Залежність від висоти рослин від змісту загального гумусу в ґрунті можна виразити у вигляді лінійної регресії за допомогою такого рівняння:

$$y = 27,34 + 8,345x$$

де, y – площа листової поверхні, $\text{м}^2/\text{см}$

x – висота рослин, м.

За значенням коефіцієнта детермінації ($R^2 = 0,75$), можна стверджувати про високий ступінь кореляційного зв'язку.

Враховуючи значення коефіцієнта детермінації ($R^2 = 0,65$), можна стверджувати про значущий характер кореляційного зв'язку (рис. 6.14).

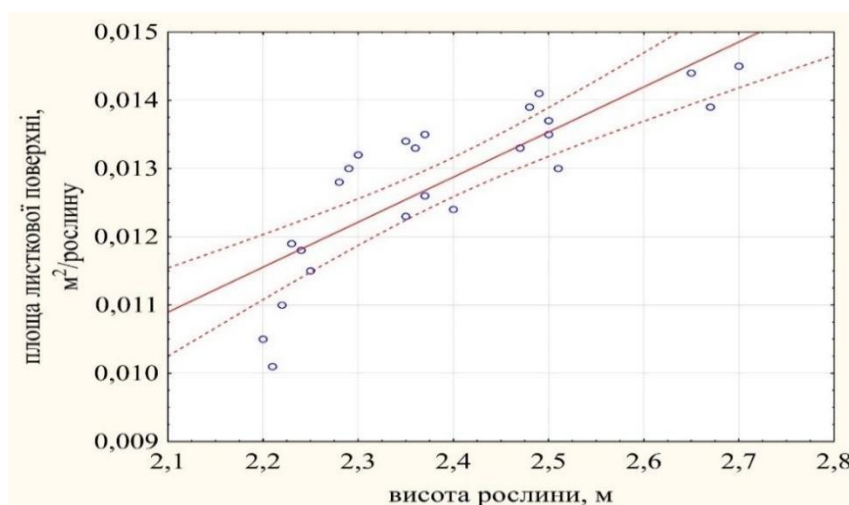


Рис. 6.14. Зв'язок між висотою рослини сільфії пронизанолистої та площею її листової поверхні.

Протягом чотирьох років досліджень середня продуктивність вегетативної маси сільфії пронизанолистої у різних варіантах внесення ОСВ (варіанти 4 – 6) коливалася від 81,4 до 89,6 т/га. Це було на 7,4 – 12,4 т/га вище, ніж у варіантах, де використовували тільки мінеральні добрива в дозі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3).

Внесення компостів (варіанти 7 – 8) забезпечує підвищення продуктивності вегетативної маси до 82,3 – 86,8 т/га. Це на 8,8 – 10,7 т/га перевищує результати контрольного варіанта. Вихід сухої речовини сільфії пронизанолистої становив 11,7 – 24,1 т/га, залежно від варіантів удобрення. За внесення ОСВ (варіанти 4 – 6) вихід сухої речовини становив 19,1 – 24,1 т/га.

Приріст продуктивності до контролю у варіантах за внесення мінеральних добрив $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 – 3) становив 4,5 – 8,2 т/га [306].

За внесення свіжого ОСВ у нормі 20 – 40 т/га приріст продуктивності до контролю ставить 7,4 – 12,6 т/га. Однак, за внесення компостів на основі ОСВ та соломи у нормі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) приріст продуктивності до контролю становив 8,8 – 10,7 т/га (варіанти 4 – 6) (табл. 6.11).

Таблиця 6.11

**Продуктивність сільфії пронизанолистої залежно від ОСВ,
середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Врожайність залежно від року вегетації			середнє	Збір сухої маси, т/га	Приріст до контролю, т/га
	II	III	IV			
Без добрив (контроль)	38,40	61,23	79,63	59,74	11,72	
$N_{60}P_{60}K_{60}$	40,12	63,82	80,91	61,61	16,24	4,56
$N_{90}P_{90}K_{90}$	42,61	67,72	82,71	64,30	19,91	8,27
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	41,83	66,50	81,41	63,21	19,10	7,43
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	43,51	69,20	87,74	66,82	22,34	10,63
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	46,91	74,62	89,61	70,43	24,10	12,45
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$;	42,36	67,31	82,33	63,94	20,52	8,82
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$.	44,01	70,12	86,81	66,92	22,40	10,72
$HP_{0,05}$	0,61	1,01	0,53	0,73	1,61	1,76

Залежність виходу сухої маси рослин сільфії пронизанолистої від висоти рослин можна описати таким рівнянням лінійної регресії:

$$y = 45,34 + 15,89$$

де, y – вихід сухої маси рослин сільфії пронизанолистої, т/га.

x – висота рослин, м.

Експериментальний розподіл густини імовірностей продуктивності сільфії пронизанолистої залежно від внесених добрив (рис. 6.15) [314].

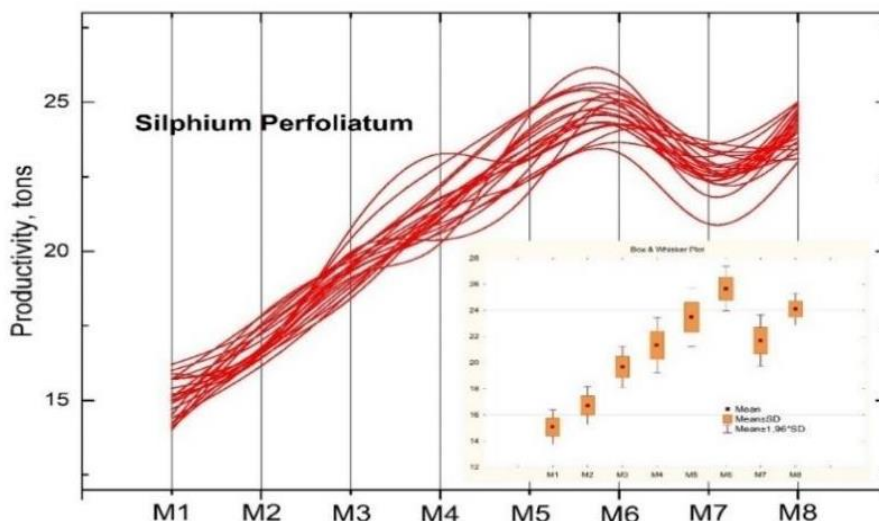


Рис. 6.15. Розподіл густини імовірностей продуктивності сільфії пронизанолистої залежно від норми внесення ОСВ

Примітка: (M1 – M8 – варіанти) та графічне зображення середнього значення (Mean) продуктивності сільфії пронизанолистої, стандартна похибка дослідження (Mean SD) та 95-ти відсотковий довірчий інтервал (Mean 1.96 SD).

На рис. 6.15 показана діаграма типу «ящик з вусами» для цього розподілу. Згідно проведених досліджень для сільфії пронизанолистої оптимальним є застосування добрив на основі ОСВ – 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6).

Проте, доцільно вносити і компости на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у нормі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$ (варіанти 7 та 8) [314].

Таке поєднання добрив не тільки забезпечує максимальний рівень продуктивності сільфії пронизанолистої, але зважаючи на його невисоку вартість (в основному, це вартість перевезення, складування і внесення удобрення) та простоту у застосуванні – таке добриво може бути широко застосоване під час вирощування цієї культури та інших енергетичних культур.

Звісно, залишаються питання пов'язані з переходом важких металів та інших хімічних речовин з ОСВ у сиру масу рослин та екологічними ризиками, які пов'язані з цим процесом (табл. 6.12) [314].

Таблиця 6.12

Трансформація взаємозв'язків між різними нормами внесення ОСВ

	$r \geq$	0,4	0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
варіант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		Nss		P ₂ O _{5ss}	K ₂ Oss	
SV1	0,220258	-0,328165	0,390489		0,949193		0,889995	0,946737	
SV2	0,208881	-0,321777	0,398902		0,94509		0,890034	0,9458	
SV3	0,040548	-0,075581	0,549097		0,865931		0,728165	0,807896	
SV4	0,378935	-0,388745	0,234724		0,94451		0,802804	0,884185	
SV5	0,216724	-0,361042	0,374781		0,927461		0,907759	0,952039	
SV6	0,152286	-0,289145	0,412831		0,874392		0,862173	0,894271	
SV7	0,240201	-0,415597	0,316532		0,885233		0,915707	0,936911	
SV8	0,087541	-0,232811	0,497097		0,889974		0,86587	0,909291	
SV9	0,082078	-0,237103	0,489925		0,869104		0,857052	0,896497	
SV10	-0,03983	-0,165495	0,556186		0,883764		0,829309	0,885766	
SV11	0,216425	-0,331161	0,389499		0,925979		0,875468	0,928648	
SV12	0,170719	-0,336082	0,420185		0,915964		0,911322	0,952348	
SV13	0,101216	-0,14977	0,499659		0,892995		0,759692	0,845703	
SV14	0,013362	-0,118534	0,537215		0,828275		0,796454	0,841709	
SV15	0,431962	-0,482494	0,186967		0,984637		0,873651	0,953734	
SV16	0,433334	-0,494364	0,15469		0,947163		0,86604	0,927768	
SV17	0,369061	-0,469632	0,242929		0,969373		0,91397	0,969764	
SV18	0,104162	-0,212268	0,480253		0,889149		0,834012	0,884379	
SV19	0,367733	-0,492813	0,198599		0,919694		0,911178	0,942948	
SV20	0,259465	-0,378076	0,307682		0,883644		0,861962	0,896707	
SV21	0,352933	-0,37596	0,276819		0,936112		0,790667	0,881092	

Примітка: (M1 – M8, включаючи різні варіанти досліду) та продуктивністю сільфії пронизанолистої на відповідному дослідному полі (1 – 21).

У таблиці показані кореляційні зв'язки між певними типами мінеральних добрив (N, P₂O₅, K₂O) та продуктивністю сільфії пронизанолистої на обраних дослідних ділянках (1 – 21).

Відповідно до висоти рослин підвищується вихід сухої маси рослин сільфії пронизанолистої, дані показники є взаємозалежні і великий вплив на дані показники має внесення дози ОСВ та компостів на їх основі.

Вихід сухої маси змінюється відповідно до збільшення внесення норм ОСВ і залежить від висоти рослин (рис. 6.16).

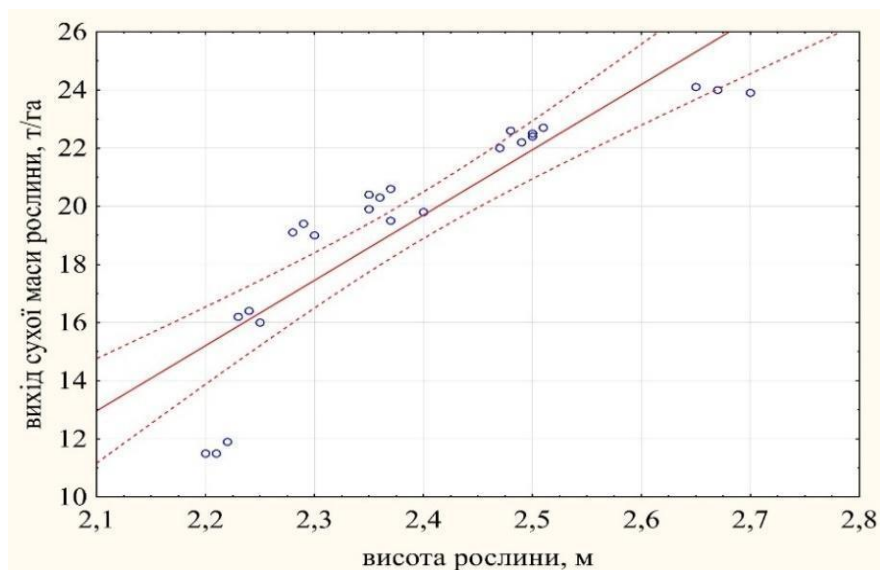


Рис. 6.16. Залежність виходу сухої біомаси рослин сільфії пронизанолистої від висоти рослини.

Згідно значення множинного коефіцієнта детермінації ($R^2 = 0,65$), кореляційний зв'язок можна розцінювати, як помітний (рис. 6.17) [314 - 316].

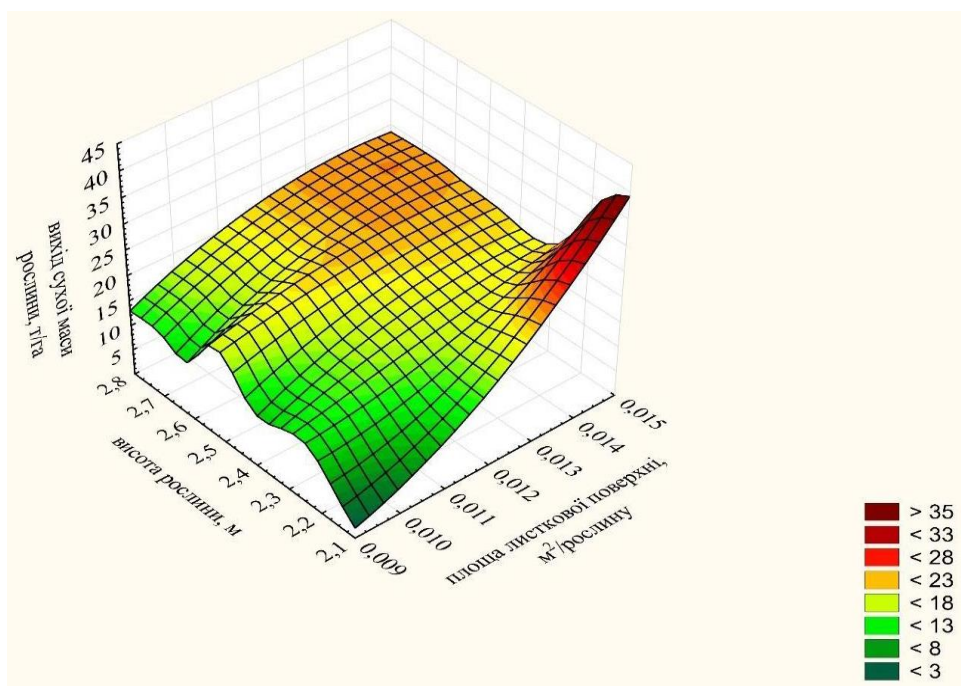


Рис. 6.17 Залежність між площею листкової поверхні і висотою рослин та виходу сухої маси рослин сільфії пронизанолистої

Протягом років досліджень середня висота рослин міскантуса змінювалась у межах від 133 до 204 см. У варіантах 2 і 3, де вносили мінеральні добрива у дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ і $N_{90}P_{90}K_{90}$ відповідно висота рослин збільшилась на 14 та 25 см порівняно з контролем. У варіантах 4 – 6 за внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га висота рослин збільшилась порівняно з контролем на 17 – 42 см відповідно. За внесення компосту на основі ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$ висота рослин збільшилась на 57 см порівняно з контролем і дорівнювала 190 см. За роки досліджень найбільшу висоту стебла міскантус забезпечив за внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$ (варіант 8) рівне 204 см, що на 71 см перевищувало контроль (рис. 6.18) [314].

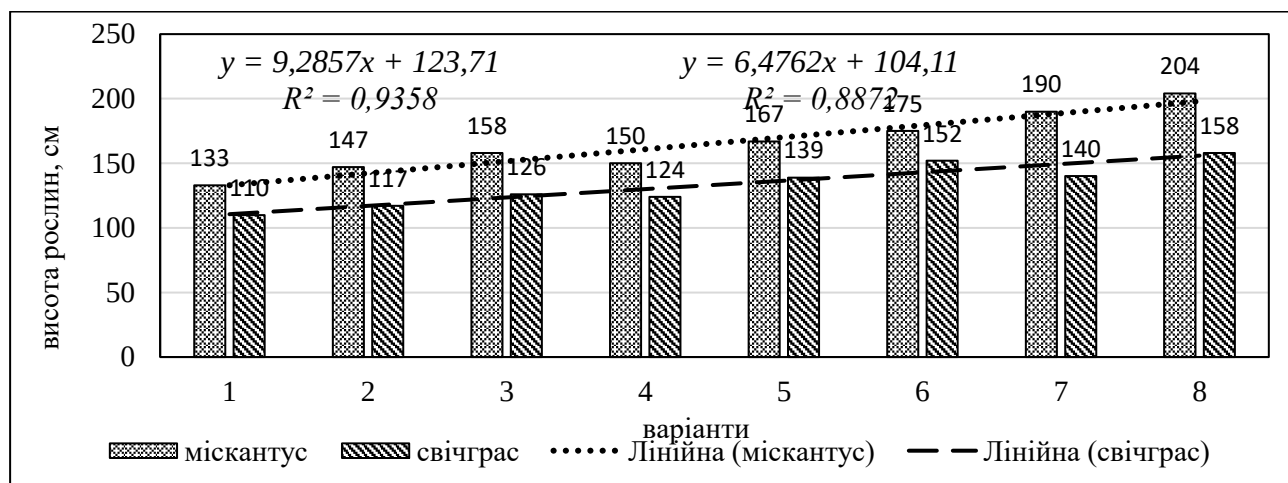


Рис. 6.18. Висота рослин міскантуса та світчграсу залежно дози внесення ОСВ, 2016 – 2022 роки

Дози внесення ОСВ безпосередньо впливали на висоту енергетичних рослин, регресійну модель залежності висоти рослин міскантуса гігантського та світчграсу можна описати за допомогою таких рівнянь:

$$y = 9,2857x + 123,71$$

де y – висота рослин міскантуса гігантський, см;

x – норми внесення ОСВ.

Множинний коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,94$, що вказує на дуже високий майже функціональний зв'язок між нормами внесення ОСВ та висотою рослин міскантуса гігантського:

$$y = 6,4762x + 104,11$$

де y – це висота рослин світчграсу, см;

x – норми внесення ОСВ.

Множинний коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,89$, що вказує на дуже високий зв'язок між нормами внесення ОСВ та висотою рослин світчграсу, хоч і дещо менший, ніж за вирощування міскантуса.

Протягом років досліджень середня висота рослин світчграсу змінювалась у межах від 1,10 до 1,58 м. У варіантах, де було внесено тільки мінеральні добрива (варіанти 2 і 3 у дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ і $N_{90}P_{90}K_{90}$) висота рослин зростала відповідно на 0,07 та 0,16 м порівняно з контролем. За внесення 20 – 40 т/га ОСВ (варіанти 4 – 6) висота рослин зростала порівняно з контролем на 0,14 – 0,42 м відповідно. За внесення компосту на основі ОСВ + солома (3 : 1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$ висота рослин зростала на 0,30 м порівняно з контролем і становила 1,40 м. Схематично дані дослідження і спостереження можна зобразити за допомогою розподілу імовірностей (рис. 6.19) [314 - 319].

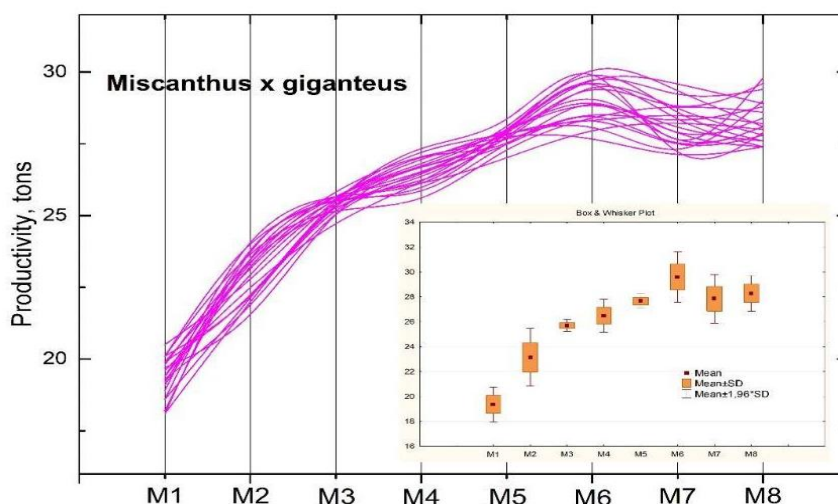


Рис. 6.19 Розподіл густини імовірностей продуктивності міскантуса залежно від норми внесення ОСВ

Примітка: (M1 – M8 – варіанти) та графічне зображення середнього значення (Mean) продуктивності міскантуса, стандартна похибка дослідження (Mean SD) та 95-ти відсотковий довірчий інтервал (Mean 1.96 SD).

На рис. 6.20 показаний розподіл густини імовірностей продуктивності міскантуса (*Miscanthus giganteus*), де прослідковується та ж сама логіка, яка

характерна для топінамбура та для сільфії пронизанолистої, тобто оптимальним вибором для умов може бути варіант (М6). Але на відміну від інших культур, також прийнятним варіантом може бути варіант 8 (М8). Розподіл густини імовірностей продуктивності світчграсу показаний на рис.6.20 [307, 314].

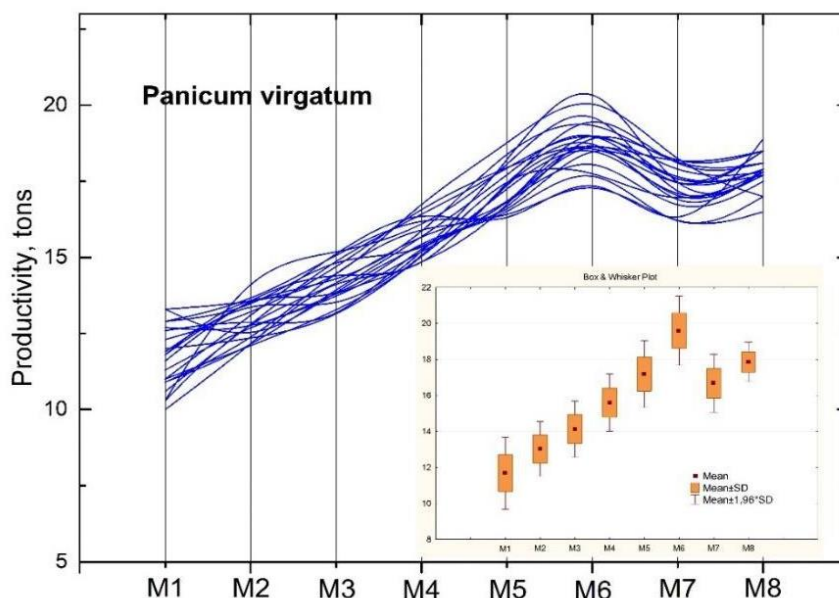


Рис. 6.20 Розподіл густини імовірностей продуктивності світчграсу залежно від норми внесення ОСВ

Примітка: (M1 – M8 – варіанти) та графічне зображення середнього значення (Mean) продуктивності світчграсу, стандартна похибка дослідження (Mean SD) та 95-ти відсотковий довірчий інтервал (Mean 1.96 SD).

Для світчграсу, так само як і для інших досліджуваних енергетичних культур, оптимальним вибором норми внесення ОСВ є варіант, де вносили максимальну дозу ОСВ та $N_{10}P_{14}K_{58}$ у дозі 40 т/га (варіант 6). Загальний висновок з таблиці кореляційних зв'язків між типами мінеральних добрив (N, P_2O_5 тощо) та продуктивністю вирощування світчграсу на дослідних ділянках (1 – 21) полягає в наступному: наявність позитивних кореляційних зв'язків між певними типами мінеральних добрив і продуктивністю світчграсу свідчить про те, що додаткове внесення цих добрив сприяє збільшенню врожайності за підвищеної норми внесення ОСВ та компостів на їх основі із мінеральними добавками (табл. 6.13) [314 - 320].

Таблиця 6.13

**Кореляційні зв'язки між нормами внесення ОСВ та продуктивністю
виросування свіччграсу за внесення ОСВ**

	r>=	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Variable	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Nss		P ₂ O ₅ ss		K ₂ Oss	
MS1	0,116934	0,019208	0,674026	0,814858		0,773045		0,821034	
MS2	0,097739	0,043015	0,660084	0,828674		0,789044		0,838223	
MS3	0,154892	0,035493	0,712817	0,788927		0,724106		0,781752	
MS4	0,121084	0,017265	0,683383	0,805125		0,75926		0,811875	
MS5	0,211044	0,0775	0,748929	0,767103		0,71558		0,769244	
MS6	0,20357	0,024146	0,701754	0,728086		0,789871		0,799612	
MS7	0,275089	0,06992	0,754536	0,686478		0,724052		0,741262	
MS8	0,120689	0,131829	0,611651	0,739381		0,840745		0,833024	
MS9	0,220601	0,013288	0,711873	0,721204		0,767244		0,779046	
MS10	0,131468	0,042066	0,651694	0,746037		0,758501		0,781883	
MS11	0,154652	0,058836	0,654859	0,731148		0,787955		0,795441	
MS12	0,014417	0,138479	0,572954	0,854736		0,801701		0,855568	
MS13	0,00558	0,113822	0,583007	0,836273		0,779079		0,834316	
MS14	0,012144	0,143206	0,570534	0,81844		0,801359		0,843002	
MS15	0,008892	0,185076	0,55815	0,83157		0,860411		0,88352	
MS16	0,013849	0,206885	0,531614	0,8392		0,871272		0,892247	
MS17	0,044408	0,151944	0,527082	0,878603		0,816298		0,872041	
MS18	0,064695	0,077339	0,618048	0,83917		0,800413		0,852567	
MS19	0,22395	0,083184	0,752318	0,750443		0,704712		0,758115	
MS20	0,031515	0,008278	0,623582	0,855619		0,70773		0,796603	
MS21	0,105497	0,005645	0,66488	0,814465		0,744273		0,804114	

Зокрема, типи добрив, які мають високий коефіцієнт кореляції з показниками продуктивності, можуть бути рекомендовані для підвищення врожайності свіччграсу на відповідних ділянках. Однак необхідно враховувати, що кореляція не завжди означає причинно-наслідковий зв'язок, тому рекомендації щодо внесення добрив слід підтверджувати додатковими дослідженнями та аналізом. У таблиці 6.15 показані кореляційні зв'язки між певними типами мінеральних добрив (N, P₂O₅, K₂O) та продуктивністю виросування свіччграсу на певній дослідній ділянці (1 – 21) (табл.6.14).

Таблиця 6.14

**Кореляційні зв'язки між нормами внесення ОСВ за вирощування
міскантуса**

	r>=	-0,40 -0,20	0 0,20	0,40 0,60	0,80	1
Variable	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Nss	P ₂ O ₅ ss	K ₂ Oss
TP1	-0,207298	-0,334730	0,400032	0,946710	0,902217	0,957176
TP2	-0,181605	-0,321292	0,398141	0,908213	0,885251	0,929459
TP3	-0,283320	-0,446075	0,287643	0,914194	0,926855	0,957639
TP4	-0,218605	-0,364035	0,379537	0,944108	0,919689	0,968571
TP5	-0,241923	-0,397895	0,352270	0,943968	0,937163	0,977328
TP6	-0,259624	-0,418150	0,326398	0,931286	0,931573	0,968483
TP7	-0,299409	-0,403138	0,312003	0,946410	0,886386	0,945323
TP8	-0,133879	-0,243154	0,461902	0,893375	0,831863	0,889415
TP9	-0,118056	-0,217924	0,491201	0,923623	0,837989	0,910532
TP10	-0,061002	-0,228631	0,511790	0,876965	0,866199	0,911573
TP11	-0,143650	-0,252550	0,463390	0,918467	0,849815	0,913156
TP12	-0,045168	-0,187300	0,535414	0,869318	0,829984	0,884861
TP13	-0,199853	-0,325952	0,404364	0,929931	0,876534	0,939579
TP14	-0,207651	-0,358383	0,391032	0,926978	0,905199	0,954398
TP15	-0,271220	-0,467287	0,294418	0,916570	0,956204	0,982512
TP16	-0,075369	-0,217397	0,507968	0,884229	0,849782	0,900905
TP17	0,010045	-0,126371	0,580895	0,855414	0,813404	0,865517
TP18	-0,390411	-0,442340	0,227715	0,987211	0,872089	0,955111
TP19	-0,414841	-0,416353	0,218138	0,988146	0,820114	0,921377
TP20	-0,246809	-0,315645	0,375171	0,952562	0,849161	0,923681
TP21	-0,116525	-0,248017	0,452656	0,882211	0,848953	0,895968

З таблиці видно, що зі зростанням показника продуктивності найбільше корелює внесення ОСВ. З іншого боку для мінеральних добрив М2 –М3 така тенденція значно меншою мірою виражена, або взагалі відсутня

Те ж саме стосується топінамбура, дані кореляції продуктивності якого з внесенням добрив зображені у табл. 6.16. З неї видно, що норми внесення ОСВ практично лінійно корелюють із продуктивністю у прирості зеленої маси.

У таблицях 6.13 – 6.15 показані кореляційні зв'язки між певними типами мінеральних добрив (N, P₂O₅, K₂O) та продуктивністю вирощування

досліджуваних культур на обраних дослідних ділянках (1 – 21). З таблиць видно, що зі зростанням показника продуктивності найбільше корелює внесення ОСВ. З іншого боку, для мінеральних добрив М2 – М3 така тенденція значно меншою мірою виражена, або взагалі відсутня [307].

За роки досліджень введення органічних добрив в середньому та компостів на їх основі відзначено приріст продуктивності вегетативної маси біоенергетичних культур (табл. 6.15) [314].

Таблиця 6.15

**Продуктивність біоенергетичних культур на дерново-підзолистому ґрунті
(2016 – 2022 рр.)**

Варіанти дослідів	Світчґрас					Міскантус				
	Врожай сирової маси			Вихід сухої речовини		Врожай сирової маси			Вихід сухої речовини	
	т/га	приріст		т/га	Приріст, %	т/га	приріст		т/га	Приріст, %
		+т/га	%				+т/га	%		
Без добрив (контроль)	15,3	-	100	7,1	100	22,1	-	100	10,0	100
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	16,1	0,8	105	7,5	106	23,0	0,9	104	10,4	104
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	17,0	1,7	111	7,7	108	23,8	1,7	108	11,0	110
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	16,8	1,5	110	8,2	106	23,5	1,4	106	10,6	106
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	17,5	2,2	114	8,5	120	24,4	2,3	110	11,7	117
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	18,3	3,0	120	8,9	125	25,1	3,0	113	12,2	122
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	19,0	3,7	124	9,2	129	26,0	3,9	118	12,8	128
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	19,7	4,4	129	9,6	135	26,9	4,8	122	13,0	130

Протягом чотирьох років досліджень середньодобовий вміст вегетативної маси міскантуса був вищим в варіантах з внесенням ОСВ (варіанти 4 – 6), становлячи 23,5 – 25,1 т/га, що перевищує показники варіантів, де вносили тільки мінеральні добрива у дозі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3), на 0,5 – 2,1 т/га. З внесенням компостів на основі органічного відходу (варіанти 7 – 8) вміст вегетативної маси досягав 26,0 – 26,9 т/га, що перевищує показники контрольного варіанта на 3,9–4,8 т/га [307].

Вихід сухої речовини міскантуса становив 10,0 – 13,0 т/га, залежно від варіантів удобрення. За внесення ОСВ (варіанти 4 – 6), вміст сухої речовини вийшов на рівні 10,6 – 12,2 т/га, що перевищує показник у контрольному варіанті на 0,6 – 2,2 т/га. За внесення компосту на основі ОСВ (варіанти 7 – 8), вихід сухої речовини рівний 12,8 – 13,0 т/га, що на 2,2 – 2,4 т/га перевищує показники варіантів, де вносили свіжі ОСВ. За чотири роки досліджень продуктивність світчграсу становила 16,8 – 18,3 т/га (варіанти 4 – 6), що на 0,7 – 2,2 т/га більше, порівняно з внесення мінеральних добрив $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3). Підвищення продуктивності біомаси світчграсу шляхом внесення компостів ОСВ (варіанти 7 – 8) становило 19,0 – 19,7 т/га, що на 3,7 – 4,4 т/га переважає показник контрольного варіанта [307 - 312].

Продуктивність світчграсу залежить не тільки від маси кожної рослини, що особливо важливо не лише з огляду на густоту стояння рослин на площі, але й лімітується вологоутримуючою здатністю ґрунту та погодними і агротехнологічними умовами вирощування культури. Вихід сухої речовини світчграсу на час збирання становив 7,1 – 9,6 т/га залежно від варіантів застосування добрив. За внесення ОСВ (варіанти 4 – 6), виходи сухої речовини становили від 8,2 до 8,9 т/га, що перевищувало показники контролю на 1,1 – 1,8 т/га. За внесення компосту на основі ОСВ (варіанти 7 – 8), вихід сухої речовини був вищий на 1,0 – 1,4 т/га порівняно з варіантами, де вносили свіжий ОСВ і становив 9,2 – 9,6 т/га.

Аналіз кореляційних зв'язків між ключовими показниками продуктивності дозволяє зробити висновок, що кількісні характеристики рослин (такі як висота і густота стебел) суттєво впливають на продуктивність агрофітоценозів біоенергетичних культур (рис. 6.21).

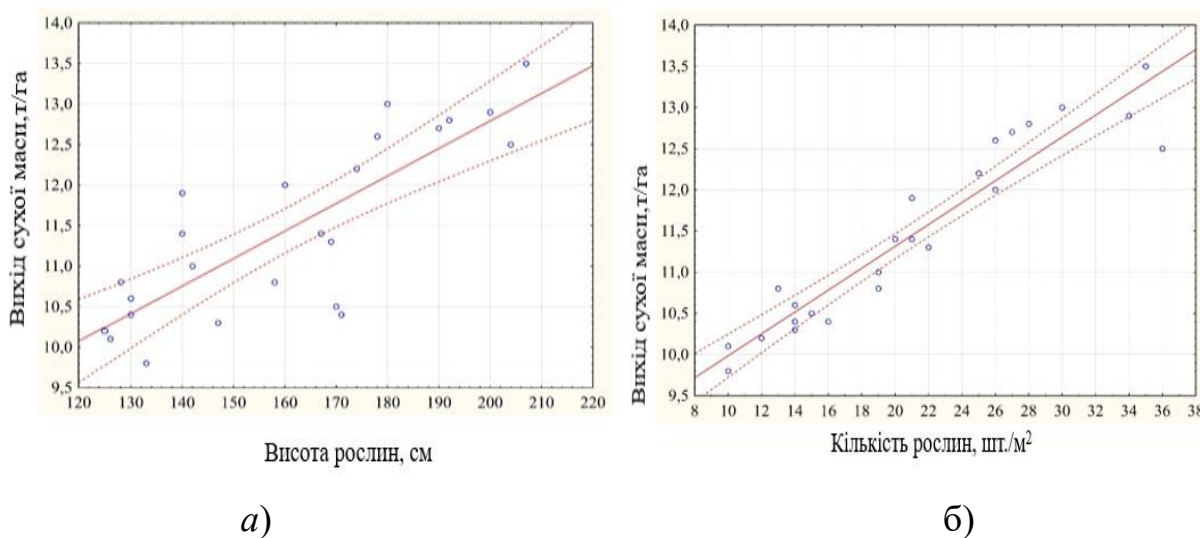


Рис. 6.21. Кореляційна зв'язок між висотою рослин (а) та кількістю стебел (б) та продуктивністю міскантуса, 2016–2022 роки

На основі проведеного кореляційно-регресійного аналізу було встановлено, що продуктивність міскантуса залежить найбільше від висоти рослин, а також від кількості стебел ($R^2 = 0,77$, $r = 0,88$).

При цьому вигляд рівняння багатозмінної регресії може виглядати таким чином:

$y = 8,6563 + 0,1328x$, де x - висота рослин, см; y – вихід сухої маси, т/га;
та $y = 5,9968 + 0,034x$, де x - кількість рослин на один квадратний метр;
 y – вага сухої речовини на га.

Встановлення зв'язку між виходом сухої речовини і висотою рослин та кількістю стебел міскантуса, показало пряму залежність, тобто зі зростанням висоти рослин збільшується кількість сухої маси рослини, і відповідно, зі збільшенням кількості стебел на квадратний метр, збільшується вихід сухої маси рослини. Висота рослин світчграсу сягає 1,45 – 1,56 м за внесення ОСВ 40 т/га +

N₁₀ P₁₄ K₅₈ (варіант 6) та за внесення компосту (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀ K₅₅ (варіант 8).

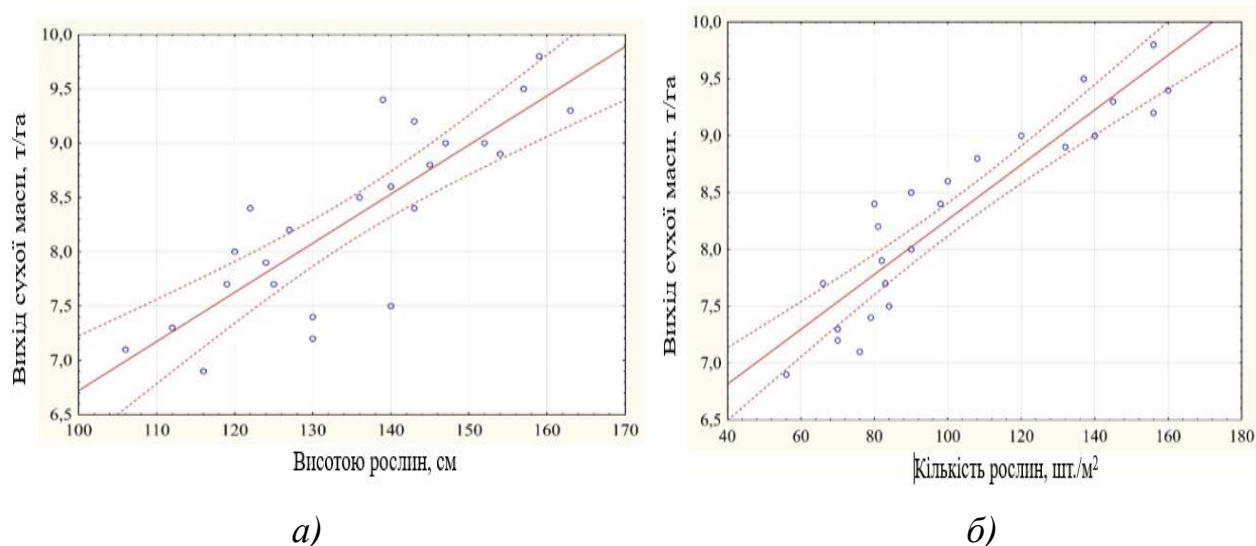


Рис. 6.22. Кореляційна залежність між висотою рослин (а), кількістю рослин (б) та продуктивністю свічграсу, 2016 – 2022 роки

Результати кореляційно-регресійного аналізу вказують на те, що виробництво свічграсу залежить від висоти рослини за коефіцієнта кореляції $R^2=0,86$, $r=0,83$ та від кількості стебел за коефіцієнта кореляції $R^2=0,89$, $r=0,94$.

При цьому рівняння регресії можуть мати та вигляд:

$$y = 0,04524x + 2,1964 \text{ (висота рослин та продуктивність),}$$

де, y – вихід сухої маси, т/га; x – висота рослин, см;

$$y = 0,13284x + 8,6563 \text{ (кількість стебел та продуктивність),}$$

де, y – вихід сухої маси, т/га; x – кількість рослин, шт./м².

Для визначення характеру множинної кореляційної залежності було застосовано методи множинного лінійного регресійного аналізу, результати якого наведено на рисунках 6.22 а) і б) [307].

Таким чином, були виявлені тісні множинні кореляційні зв'язки між продуктивністю культури, висотою рослин та кількістю рослин на м². Встановлено, що вихід сухої маси рослини свічграсу залежить від висоти

рослин та кількості рослин на одиниці площі, що можна виразити таким рівнянням регресії:

$$z = 6,2494 + 0,034x + 0,057y$$

z - вихід сухої речовини світчграса, т/га;

x - висота рослин вимірюється в сантиметрах;

y – кількість рослин, шт/м².

Встановлено, що продуктивність рослин міскантуса також залежить від висоти рослин та кількості стебел на одиниці площі (6.23)

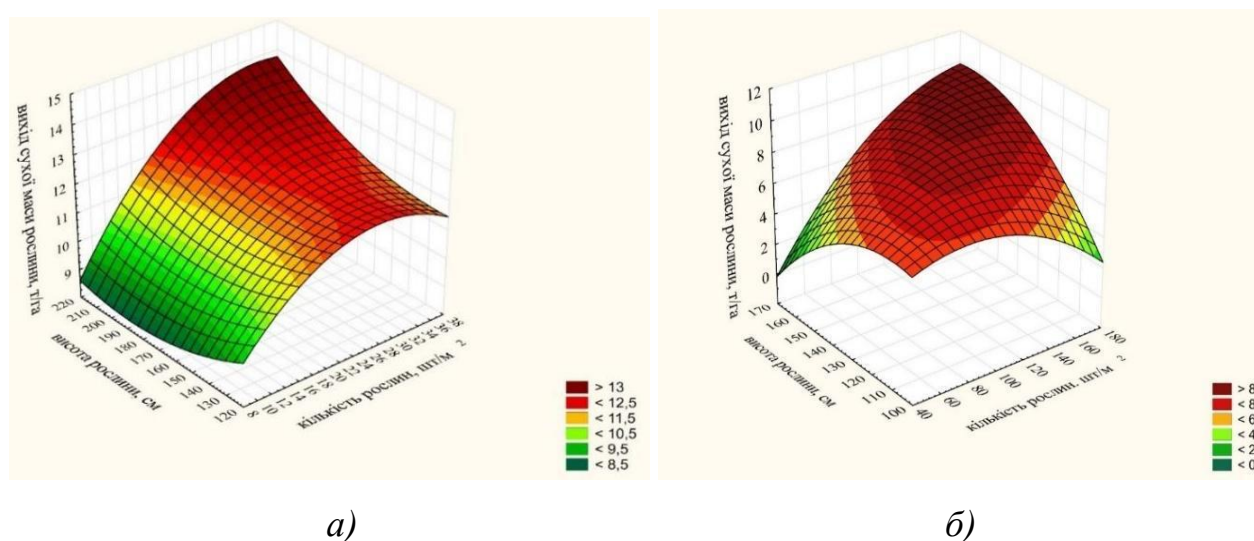


Рис. 6.23 Залежність між кількістю рослин і висотою рослин та продуктивністю міскантуса

Таку кореляційну залежність можна виразити рівнянням регресії:

$$z = 9,2014 + 0,1496x + 0,0056y;$$

де, z – вихід сухої речовини міскантуса, т/га; x - висота рослин, см;

y – кількість рослин, шт/м²

Зважаючи на це можна стверджувати, що внесення ОСВ з компенсаційною дозою мінеральних добрив є надзвичайно ефективним способом підвищення продуктивності агрофітоценозів енергетичних культур.

Внесення ОСВ та мінеральних добрив сприяло підвищенню врожайності бульб топінамбура порівняно з контрольним варіантом. Варто зазначити, що

внесення ОСВ та мінеральних добрив впливає не тільки на обсяг врожаю але і на структуру бульб топінамбура (табл. 6.18).

Таблиця 6.18

Вплив систем удобрення на обсяг і структуру врожаю бульб топінамбура

№ п/п	Масова частка бульб з куща, %				Кількість бульб на одну рослину, шт.	Середня маса бульб з куща, г	Врожай, т/га
	крупних (> 70 г)	середніх ($30 - 70$ г)	дрібних (< 30 г)	округлих			
1	17	29	53	1	22	51,1	31,42
2	26	31	40	3	20	56,9	34,13
3	27	32	38	3	29	58,0	47,98
4	31	36	29	4	28	61,3	48,78
5	35	38	23	4	30	63,4	52,84
6	47	32	15	6	32	72,6	66,91
7	36	39	19	6	29	65,2	54,72
8	41	40	16	3	28	68,0	56,91

Зокрема врожайність топінамбура за внесення мінеральних добрив (варіанти 2 і 3) зростала на 2,71 – 16,56 т/га порівняно з контролем. У варіантах 4–6, де вносили свіжий ОСВ 20–40 т/га та мінеральні добрива, врожайність бульб становила 48,8–66,9 т/га, що на 17,4–25,1 т/га більше, ніж у варіанті без внесення добрив та на 0,8–18,9 т/га більше порівняно з варіантом 3 ($N_{90}P_{90}K_{90}$).

За внесення компостів на основі ОСВ та мінеральних добрив (варіанти 7 і 8) врожайність зменшувалася порівняно з варіантом 6 (ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$) і становила 54,7–56,9 т/га, що на 23,3–25,5 більше від показника контрольного варіанта. В умовах досліджень найнижчий врожай топінамбура – 34,1 т/га, крім контрольного варіанта, було отримано за внесення мінеральних добрив у нормі $N_{60}P_{60}K_{60}$ (варіант 2).

Кількість бульб на одну рослину в умовах досліду коливалася від 20 до 35 шт., середня маса бульб у варіантах змінювалася від 51,1 до 72,6 г. Масова частка

крупних бульб топінамбура змінювалася від 17% (варіант 1) до 47% (варіант 6). Зокрема з підвищенням норми внесення ОСВ (20–40 т/га) та мінеральних добрив зростала їхня частка від 31 до 47%, що на 14–30% більше за показник контрольного варіанта. За внесення компостів на основі ОСВ та мінеральних добрив (варіанти 7 і 8) частка крупних бульб топінамбура зменшувалася порівняно з варіантом 6 ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$ і становила 36–41%, що на 19–24% більше за показник контрольного варіанта. Найменша частка середніх бульб у контрольному варіанті становила 29%, а за внесення мінеральних добрив (варіанти 2 і 3) збільшувалася на 2–3% порівняно з контролем. Масова частка дрібних бульб топінамбура змінювалася від 15% (варіант 6) до 53% (контроль).

Залежно від кількості бульб на одну рослину суттєво змінювався врожай підземної частини топінамбура (рис. 6.24) [307].

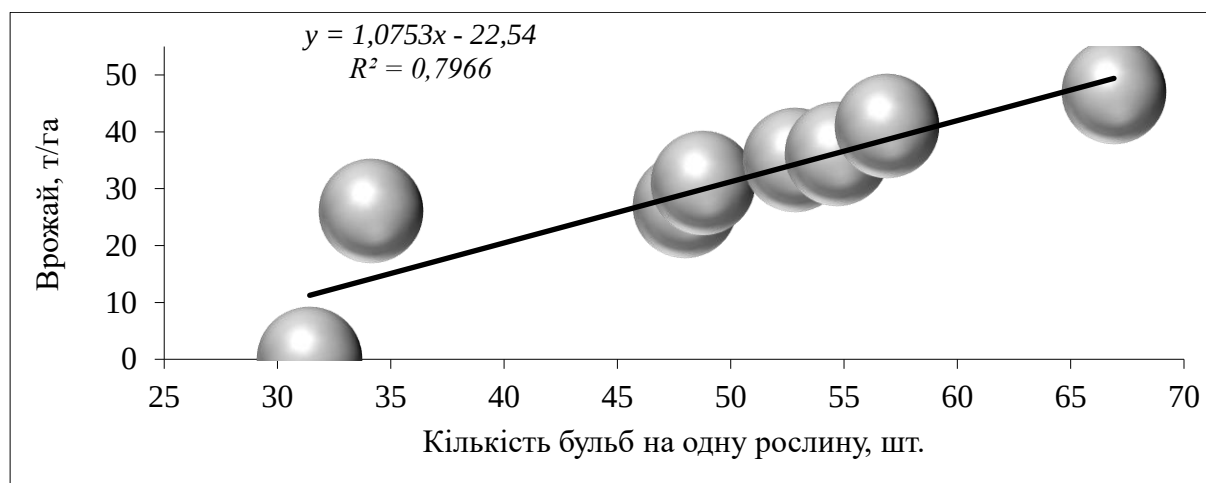


Рис. 6.24. Зміна врожайності топінамбура від кількості бульб на одну рослину

Закономірність зміни врожайності топінамбура від кількості бульб на одну рослину можна описати таким лінійним рівнянням регресії:

$$y = 0,7291x - 11,378$$

де y – зміна врожайності, т/га;

x – кількість бульб на одну рослину, шт.

$R^2 = 0,6621$ у даному випадку – це означає, що приблизно 66.21% варіації залежної змінної можна пояснити використовуючи дану регресійну модель.

Множинний коефіцієнт детермінації вказує на суттєвий коефіцієнт тісноти зв'язку між кількістю бульб, що припадає на одну рослину, та врожайністю топінамбура. Коефіцієнт кореляції $r = 0,90$ вказує на сильний позитивний лінійний зв'язок між двома змінними.

Врожай бульб топінамбура також залежить від їхньої крупності (рис. 6.25).

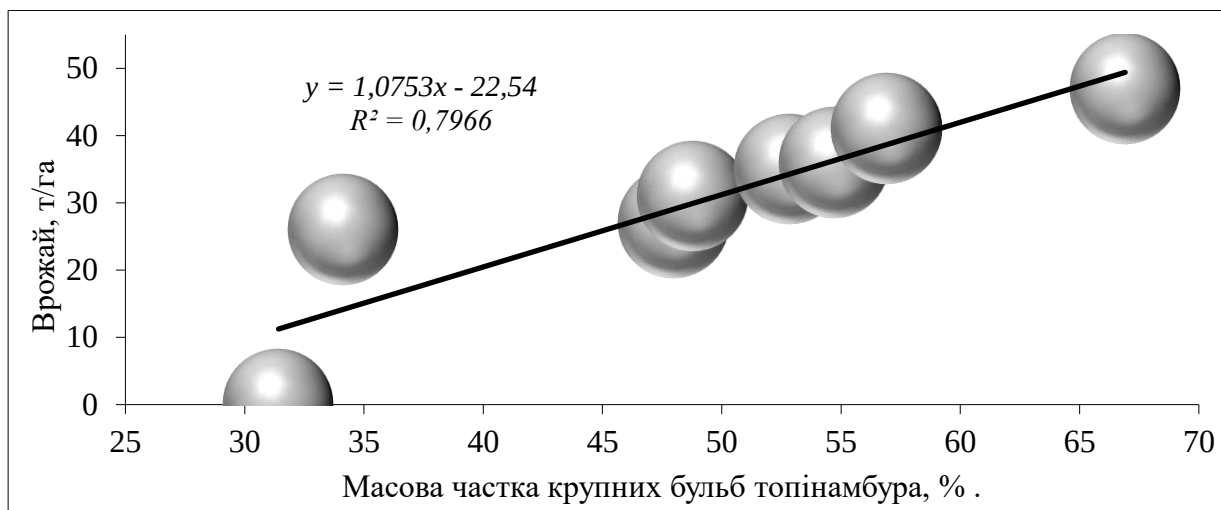


Рис. 6.25. Залежність врожайності топінамбура від масової частки крупних бульб

Закономірність зміни врожайності топінамбура від масової частки крупних бульб можна описати таким лінійним рівнянням регресії:

$$y = 1,0753x - 22,54,$$

де y – зміна врожайності, т/га;

x – масова частка крупних бульб топінамбура, г.

Множинний коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,80$) вказує на високу тісноту зв'язку між цими показниками.

Коефіцієнт кореляції $r = 0,9217$ вказує на сильний позитивний лінійний зв'язок між двома змінними. Іншими словами, коли значення однієї змінної зростають, значення іншої змінної також зазвичай зростають, і навпаки.

Схематично показано розподіл густини імовірностей продуктивності топінамбура залежно від норми внесення ОСВ (рис. 6.26) [308].

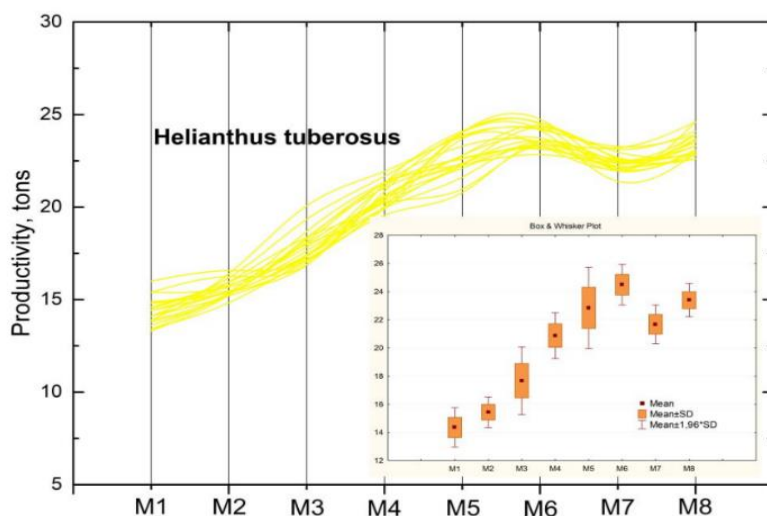


Рис. 6.26. Розподіл густини імовірностей продуктивності топінамбура залежно від норми внесення ОСВ

У результаті виконаних досліджень встановлені переконливі залежності між внесенням ОСВ з відповідною нормою мінеральних добрив і продуктивністю трав'янистих енергетичних культур. Найбільший приріст зеленої маси топінамбура забезпечує внесення ОСВ та $N_{10}P_{14}K_{58}$ у нормі 40 т/га для вирощування топінамбура. За допомогою нейронних мереж чітко спостерігаємо як підвищується та зменшується продуктивність.

Проте, поряд із застосуванням свіжого ОСВ можна і використовувати компости на їх основі разом із органічним наповненням у дозі 30 т/га (варіант 8), звичайно продуктивність паде на 3 – 5% порівняно із внесенням свіжого ОСВ, але доцільно звернути увагу, що вона стає більшою порівнюючи із контролем – без добрив (варіант 1) та варіанти із мінеральним удобренням у нормі 60 – 90 NPK (варіанти 2 – 3) [302 - 305].

Таблиця 6.19

**Кореляційні зв'язки між нормами внесення ОСВ та продуктивністю
вирощування топінамбура**

	r>=	-0,40 -0,20	0 0,20	0,40 0,60	0,80	1
Variable	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Nss	P ₂ O ₅ ss	K ₂ Oss
TP1	-0,207298	-0,334730	0,400032	0,946710	0,902217	0,957176
TP2	-0,181605	-0,321292	0,398141	0,908213	0,885251	0,929459
TP3	-0,283320	-0,446075	0,287643	0,914194	0,926855	0,957639
TP4	-0,218605	-0,364035	0,379537	0,944108	0,919689	0,968571
TP5	-0,241923	-0,397895	0,352270	0,943968	0,937163	0,977328
TP6	-0,259624	-0,418150	0,326398	0,931286	0,931573	0,968483
TP7	-0,299409	-0,403138	0,312003	0,946410	0,886386	0,945323
TP8	-0,133879	-0,243154	0,461902	0,893375	0,831863	0,889415
TP9	-0,118056	-0,217924	0,491201	0,923623	0,837989	0,910532
TP10	-0,061002	-0,228631	0,511790	0,876965	0,866199	0,911573
TP11	-0,143650	-0,252550	0,463390	0,918467	0,849815	0,913156
TP12	-0,045168	-0,187300	0,535414	0,869318	0,829984	0,884861
TP13	-0,199853	-0,325952	0,404364	0,929931	0,876534	0,939579
TP14	-0,207651	-0,358383	0,391032	0,926978	0,905199	0,954398
TP15	-0,271220	-0,467287	0,294418	0,916570	0,956204	0,982512
TP16	-0,075369	-0,217397	0,507968	0,884229	0,849782	0,900905
TP17	0,010045	-0,126371	0,580895	0,855414	0,813404	0,865517
TP18	-0,390411	-0,442340	0,227715	0,987211	0,872089	0,955111
TP19	-0,414841	-0,416353	0,218138	0,988146	0,820114	0,921377
TP20	-0,246809	-0,315645	0,375171	0,952562	0,849161	0,923681
TP21	-0,116525	-0,248017	0,452656	0,882211	0,848953	0,895968

Таким чином, внесення ОСВ сумісно з мінеральними добривами є ефективним способом підвищення продуктивності зеленої маси у діапазоні значень 57 – 64% для таких енергетичних культур як топінамбур, сільфія пронизанолиста, міскантус та світчграс.

Доза внесення 40 т/га ОСВ є порівняно недорогою способом підвищення продуктивності агрофітоценозів (основна складова вартості – це

перевезення на місце висаджування рослин і внесення у ґрунт), а також вирішує проблему нагромадження ОСВ на мулових картах і полігонах складування відходів комунального господарства.

6.3 Біохімічні показники вегетативної маси енергетичних культур

Біохімічні показники вегетативної маси енергетичних культур можуть дати інформацію про хімічний склад рослин, їхню здатність накопичувати та використовувати поживні речовини.

Найвищий вміст нітрогену у зеленій масі верби енергетичної спостерігали у варіанті внесення у ґрунт компосту на основі ОСВ і соломи (3:1) у дозі 60 т/га, а внесення свіжого ОСВ дози внесення зростали до 40 – 60 т/га вміст нітрогену варіюється від 1,92 – 1,95 % відповідно (рис. 6.27).

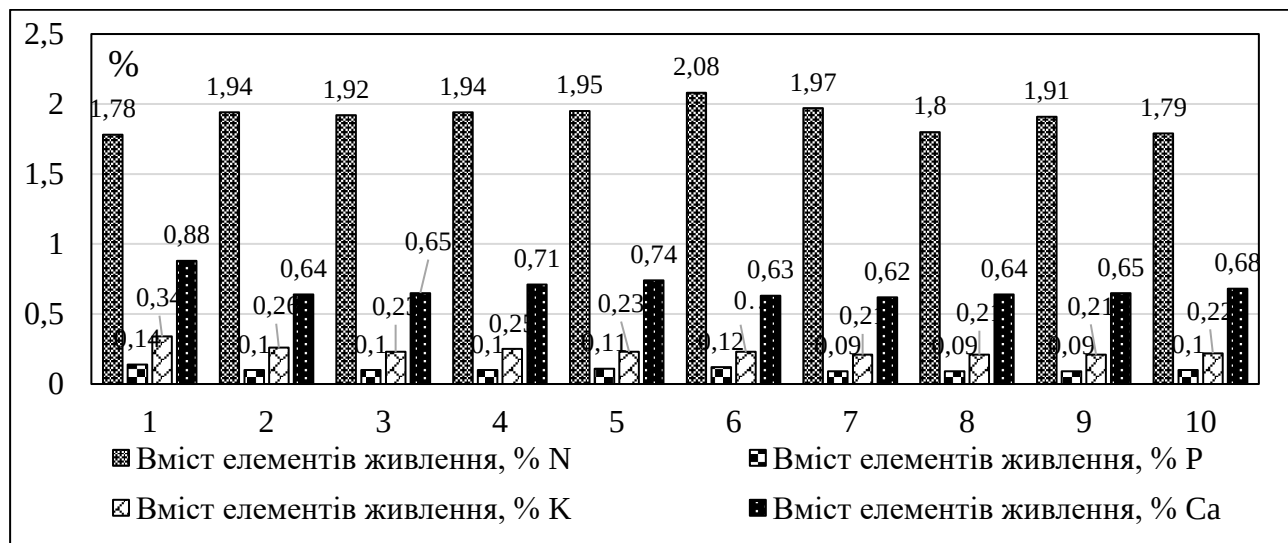


Рис. 6.27. Вміст елементів живлення у зеленій масі верби енергетичної

Вміст сполук фосфору, калію і кальцію – дещо змінюється, тому відповідно, найбільшу кількість спостерігали у контрольному варіанті досліджу 0,14%, 0,34% та 0,88% відповідно. Проте найменший вміст елементів живлення фосфору, калію та кальцію спостерігали саме у варіанті 7 (Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га) у зеленій масі верби енергетичної відзначається у

контрольному варіанті і становив 0,09%, 0,21% та 0,62% відповідно, що перевищує контроль на 0,05%, 0,13% та 0,26 % відповідно.

Розрахунок індексів нагромадження поживних елементів у вегетаційній масі верби енергетичної показав, що найвищий уміст поживних елементів таких як нітроген і фосфор відзначаються у варіанті після внесення (ОСВ + тирса (3:1)) у дозі 60 т/га, калієм – за внесення $N_{100}P_{100}K_{100}$, кальцієм – після внесення ОСВ у дозі 80 т/га (рис. 6.28.) [303 - 306].

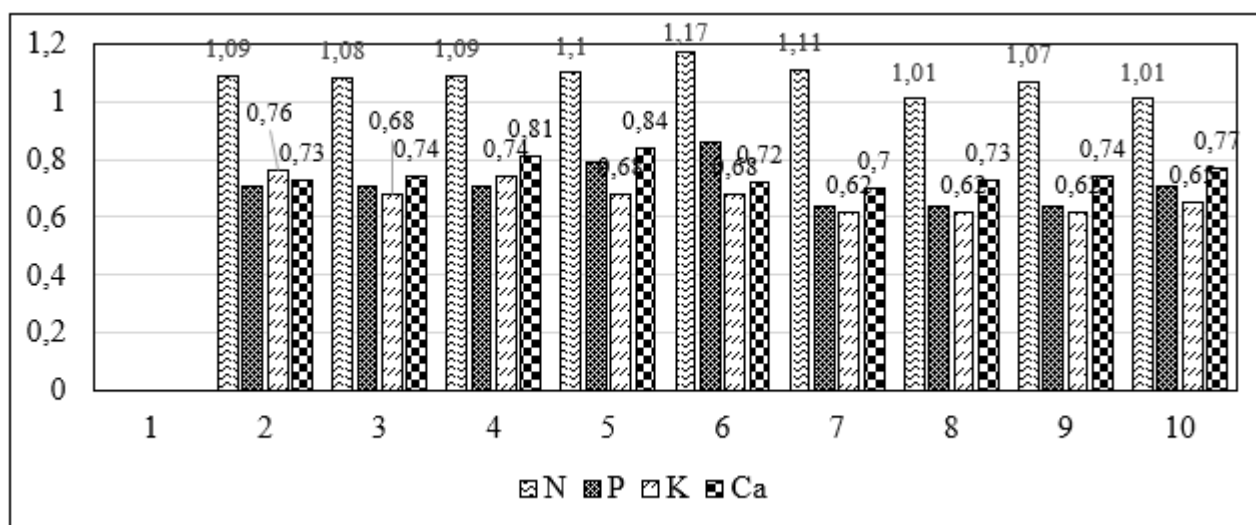


Рис. 6.28. Індекси нагромадження поживних елементів у вегетаційній масі енергетичної верби

Найвищий вміст нітрогену, фосфору, калію та кальцію у зеленій масі світчграсу спостерігали у варіанті за внесення ОСВ та $N_{10}P_{14}K_{58}$ у нормі 40 т/га і становить 1,96%, 0,34%, 1,23% та 0,99% відповідно, що перевищує контроль (варіант 1) в межах 0,09 – 0,33%. Разом із ОСВ вносяться основні агрохімічні речовини, які так необхідні для росту та розвитку рослини, відповідно спостерігаємо і при результатах дослідження із збільшення норм внесення удобрення за вирощування енергетичних культур підвищується вміст всіх необхідних сполук, які в процесі розпадаються на необхідні елементи. Найменший вміст елементів у зеленій масі світчграсу відзначається у

контрольному варіанті (без добрив) і становить від 0,12% у фосфору до 1,79% у нітрогена (табл. 6.20)

Таблиця 6.20

**Вміст елементів живлення та індекси нагромадження внутрішніх тканин
елементами живлення у зеленій масі світчграсу**

№ п/п	Вміст елементів живлення, %				Індекси нагромадження, %			
	N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
1	1,79	0,12	0,93	0,91				
2	1,86	0,18	0,99	0,96	1,04	1,51	1,06	1,05
3	1,90	0,23	1,03	0,99	1,06	1,92	1,11	1,09
4	1,85	0,27	1,17	0,94	1,03	2,25	1,26	1,03
5	1,89	0,31	1,22	0,98	1,06	2,58	1,31	1,08
6	1,96	0,34	1,23	0,99	1,09	2,83	1,32	1,09
7	1,88	0,29	1,18	0,95	1,05	2,42	1,27	1,04
8	1,91	0,32	1,24	0,97	1,07	2,67	1,33	1,07
НІР _{0,05}	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,12	0,01	0,03

Індекси нагромадження внутрішніх тканин елементами живлення у зеленій масі світчграсу коливаються в межах 1,04 – 1,09% для нітрогену, для фосфору в межах 1,5 – 2,83% відповідно до контролю за норми внесення 40 т/га ОСВ і N₁₀P₁₄K₅₈

Найвищий вміст нітрогену, фосфору, калію та кальцію у зеленій масі міскантуса спостерігали у варіанті за внесення ОСВ у нормі 40 т/га, щ становило 2,06%, 0,34%, 1,96% та 1,04% відповідно і перевищувало контроль в межах 0,15 – 0,29% [308 - 312].

Найменший вміст елементів у зеленій масі міскантуса відзначали у контрольному варіанті (6.21).

Індекси нагромадження елементів живлення у внутрішніх тканинах зеленої маси міскантуса коливаються в межах 1,87 – 2,01% для нітрогену, для фосфору в межах 0,19 – 0,34%, калію – 1,67 – 1,96%, кальцію 0,88 – 1,04%.

Найвищі індекси нагромадження елементів живлення у внутрішніх тканинах забезпечило внесення ОСВ у нормі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$.

Таблиця 6.21

**Вміст елементів живлення та індекси нагромадження внутрішніх тканин
елементами живлення у зеленій масі міскантуса**

№ п/п	Вміст елементів живлення, %				Індекси нагромадження, %			
	N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
1	1,87	0,19	1,67	0,88				
2	1,96	0,24	1,74	0,90	1,05	1,26	1,04	1,02
3	2,01	0,29	1,81	0,97	1,07	1,53	1,08	1,10
4	1,93	0,27	1,79	0,91	1,03	1,42	1,07	1,03
5	1,97	0,31	1,84	0,98	1,05	1,63	1,10	1,11
6	2,06	0,34	1,96	1,04	1,10	1,79	1,17	1,18
7	1,96	0,29	1,90	0,95	1,05	1,53	1,14	1,08
8	2,01	0,31	1,92	1,01	1,07	1,63	1,15	1,15
$HP_{0,05}$	0,36	0,03	0,36	0,06	0,36	0,66	0,36	0,39

Найвищий вміст елементів живлення нітрогену, фосфору, калію та кальцію у зеленій масі сільфії пронизанолистої спостерігали у варіанті за внесення ОСВ у нормі 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$, що становило 2,02%, 0,22%, 0,82% та 1,07% відповідно і перевищувало контроль в межах 0,10 – 0,16%.

Найнижчий уміст елементів у зеленій масі сільфії пронизанолистої відзначали у контрольному варіанті, який становив 1,9% нітрогену, 0,12% фосфору, 0,66% калію та 0,93% кальцію. Вміст елементів живлення у вегетативній масі світчграсу, міскантуса і сільфії пронизанолистої зростає у ряді: нітроген → кальцій → калій → фосфор. Індекси внутрішньо-тканинного нагромадження зеленої маси верби зростають у ряді елементів: калій → фосфор → кальцій → нітроген (табл.6.22) [311 - 313].

Для зеленої маси топінамбура характерне зростання Індексу внутрішньо-тканинного нагромадження у ряді: калій → нітроген → кальцій → фосфор.

Таблиця 6.22

**Вміст елементів живлення та індекси нагромадження внутрішніх тканин
елементами живлення у зеленій масі сільфії пронизанолистої**

№ п/п	Вміст елементів живлення, %				Індекси нагромадження, %			
	N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
1	1,90	0,12	0,66	0,93				
2	1,93	0,19	0,71	0,96	1,02	1,58	1,08	1,03
3	1,97	0,21	0,79	0,99	1,04	1,75	1,20	1,06
4	1,94	0,16	0,73	0,95	1,02	1,33	1,11	1,02
5	1,99	0,19	0,77	1,01	1,05	1,58	1,17	1,09
6	2,02	0,22	0,82	1,07	1,06	1,83	1,24	1,15
7	1,92	0,18	0,79	0,99	1,01	1,5	1,20	1,06
8	1,95	0,20	0,81	1,03	1,03	1,67	1,23	1,11

Вміст елементів живлення у зеленій масі верби енергетичної і сільфії пронизанолистої зростає у ряді: фосфор → калій → кальцій → нітроген. У зеленій масі світчграсу і міскантуса вміст елементів живлення підвищується у ряді: фосфор → кальцій → калій → нітроген.

Топінамбур відзначається підвищеним умістом елементів живлення у ряді: фосфор → кальцій → нітроген → калій.

Найвищий вміст нітрогену, калію і кальцію у зеленій масі топінамбура спостерігали у варіанті за внесення компосту на основі ОСВ у нормі 40 т/га і N₁₀P₁₄K₅₈. Найменший вміст елементів у зеленій масі верби відзначено у контрольному варіанті.

Індекси нагромадження елементів живлення у внутрішніх тканинах вегетативної маси топінамбура варіюють в межах 1,04 – 1,19% для нітрогена, для фосфора в межах 1,22 – 1,94%, для калію 1,03 – 1,08% та для кальцію 1,06 – 1,35% відповідно контроль та найбільша доза внесення ОСВ у нормі 40 т/га та мінерального добрива N₁₀P₁₄K₅₈ (табл. 6.23) [319].

Таблиця 6.23

**Вміст елементів живлення та індекси нагромадження внутрішніх тканин
елементами живлення у зеленій масі топінамбура**

№ п/п	Вміст елементів живлення, %				Індекси нагромадження, %			
	N	P	K	Ca	N	P	K	Ca
1	1,81	0,16	2,11	0,79				
2	1,89	0,20	2,18	0,84	1,04	1,25	1,03	1,06
3	1,93	0,25	2,23	0,90	1,07	1,56	1,06	1,14
4	1,90	0,21	2,17	0,88	1,05	1,31	1,03	1,11
5	2,07	0,25	2,24	0,94	1,14	1,56	1,06	1,19
6	2,15	0,29	2,27	1,07	1,19	1,81	1,08	1,35
7	2,04	0,30	2,19	0,97	1,13	1,88	1,04	1,23
8	2,12	0,31	2,21	1,03	1,17	1,94	1,05	1,30
НІР _{0,05}	0,09	0,03	0,36	0,07	0,06	0,36	0,36	0,36

Протягом років досліджень вміст усіх елементів живлення підвищувався у варіантах 4 – 6 за внесення свіжого ОСВ у нормі 20 – 40 т/га та компостів на основі ОСВ у нормі 30 т/га.

Відповідно до отриманих результатів енергетичні культури розвивалися у висоту та відповідно давали підвищену продуктивність саме у варіантах 5 – 6.

Висновки до розділу 6

Таким чином, внесення ОСВ сумісно з мінеральними добривами є ефективним способом підвищення продуктивності зеленої маси у діапазоні значень 57 – 64% усіх досліджуваних енергетичних культур.

Внесення ОСВ у нормі 40 т/га і N₁₀P₁₄K₅₈ є економічно-доцільним способом підвищення продуктивності агрофітоценозів (основна складова вартості – це перевезення на місце висаджування рослин і внесення у ґрунт), а також вирішує проблему нагромадження ОСВ на мулових картах і полігонах складування відходів комунального господарства.

Вміст елементів живлення у зеленій масі верби енергетичної і сильфії пронизанолистої зростає у ряді: фосфор → калій → кальцій → нітроген. У зеленій масі світчграсу і міскантуса накопичення елементів живлення підвищується у ряді: фосфор → кальцій → калій → нітроген, топінамбура – у ряді: фосфор → кальцій → нітроген → калій.

Найвищий вміст нітрогену у зеленій масі верби енергетичної спостерігали у варіанті за внесення у ґрунт компосту на основі ОСВ і соломи (3:1) у нормі 60 т/га, а за внесення свіжого ОСВ відповідно у нормах 40 – 60 т/га вміст нітрогену варіює в діапазоні значень 1,92 – 1,95% відповідно.

Найвищий вміст нітрогену, калію і кальцію у зеленій масі топінамбура спостерігали у варіанті за внесення компосту на основі ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$. Найменший вміст елементів у зеленій масі верби відзначали у контрольному варіанті.

Основні наукові результати розділу відображені авторкою у публікаціях експериментального характеру [95, 96, 304 – 314] тощо.

РОЗДІЛ 7

РЕВІТАЛІЗАЦІЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ ШЛЯХОМ ВИРОЩУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

Підступна воєнна агресія росії зумовила небувалі процеси деградації ґрунтового покриву в Україні, в тому числі й через забруднення нафтопродуктами значних територій. Це посилює маргіналізацію ґрунтів на окремих площах, зумовлює зниження їхньої біопродуктивності та сприяє біоаккумуляції шкідливих сполук, в тому числі й важких металів в ґрунтовому середовищі. Звідси виникає потреба у розроблянні заходів з ревіталізації і пошуку способів ефективного використання таких ґрунтів. Вирощування енергетичних культур на таких землях може бути одним із шляхів раціонального використання та рекультивації ґрунтового покриву. Однією з таких культур є верба енергетична, яка з успіхом вирощується в різних ґрунтово-кліматичних умовах не тільки для виробництва біомаси на енергетичні цілі, а й використовується для фіторе mediaції техногенних і нафтозабруднених територій.

З іншого боку, у багатьох країнах світу важливим ресурсом використання в аграрній сфері розглядається осад стічних вод комунального господарства (ОСВ). Його цінність пов'язана з умістом сполук азоту і фосфору, а також сполук вуглецю, та цілої низки переліку мікроелементів. Багато дослідників відзначають значний вплив внесення ОСВ на фізико-хімічні, агрохімічні, екологічні властивості ґрунту, зміну хімічного складу вирощуваних рослин, на рециркуляцію поживних сполук в агроєкосистемах.

Для вивчення можливостей ефективного вирощування верби енергетичної на нафтозабруднених територіях України, в тому числі й з використанням як добрива осаду стічних вод комунального господарства, було закладено польовий дослід у зоні Передкарпаття України.

Проведено дослідження в с. Битків Івано-Франківської області на території Південно-Гвіздецького родовища Надвірнянського нафто-газопромислового району, де здійснювалася активна виробнича діяльність з видобутку нафти і первинної її переробки (припинена 22 роки тому).

В результаті виконаних досліджень встановлені певні закономірності нагромадження важких металів у нафтозабрудненому ґрунті (табл. 7.1) під впливом внесення добрив на основі ОСВ і його компостів [305, 308]

Таблиця 7.1

**Вміст важких металів у нафтозабрудненому ґрунті після внесення ОСВ,
мг/кг ґрунту**

Варіанти	Міцнозв'язана форма				Рухома форма			
	Pb	Cd	Ni	Co	Pb	Cd	Ni	Co
1. Без добрив – контроль	14,01	0,66	26,36	22,91	3,91	0,21	1,11	2,09
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	14,89	0,72	27,91	23,54	4,05	0,27	1,29	2,23
3. ОСВ – 40 т/га	18,06	0,86	28,67	24,98	4,98	0,31	1,51	2,47
4. ОСВ – 60 т/га	22,11	0,99	31,12	25,33	5,06	0,39	1,68	2,78
5. ОСВ – 80 т/га	24,57	1,21	32,41	26,84	5,78	0,44	1,76	2,91
6. Компост (ОСВ + тирса (3 : 1)) – 60 т/га	16,32	1,00	30,39	25,01	4,99	0,37	1,60	2,72
7. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 20 т/га	17,56	0,78	27,12	23,79	4,48	0,29	1,46	2,39
8. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 40 т/га	18,11	0,81	27,99	24,47	4,91	0,32	1,51	2,44
9. Компост (ОСВ + солома (3 : 1)) – 60 т/га	19,09	0,90	30,45	25,09	5,02	0,37	1,64	2,69
10. Компост (ОСВ + солома (3 : 1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	18,02	0,87	29,49	24,76	4,75	0,32	1,50	2,48
ГДК	30,0	3,0	85,0	50,0	6,0	0,7	4,0	5,0
НІР _{0,05}	1,2	0,01	0,87	0,29	0,16	0,02	0,1	0,1

Під впливом зростаючих доз ОСВ зростав уміст міцнозв'язаних форм важких металів у підзолистому нафтозабрудненому ґрунті. Найвищий показник умісту Pb, Cd, Ni і Co був у варіанті 5 з найвищою дозою внесення (80 т/га) ОСВ, який був вищим порівняно з контрольним варіантом без внесення добрив на 57% для Pb, 54% – для Cd, на 81% – для Ni і 85% – для Co. Внесення компостів ОСВ і тирси (соломи) в нормах, визначених методикою досліджень, сприяло зростанню вмісту важких металів у ґрунті на рівні з варіантом внесення свіжого ОСВ у дозах 40 – 60 т/га [305 - 308].

Внесення ОСВ впливало також на зміну вмісту рухомих сполук важких металів у ґрунті. Найвищі показники вмісту рухомих сполук усіх досліджуваних елементів були у варіанті 5, де вносились найвища доза ОСВ. Однак частка рухомих сполук важких металів у міцнозв'язаному вмісті збільшувалась не пропорційно. Частка рухомих сполук Pb у міцнозв'язаній формі на контрольному варіанті становила 28%, а у варіанті 5 – знижувалася до 23%.

Загалом цей показник коливався в межах 23 – 31%. Частка рухомих сполук Cd у міцнозв'язаному вмісті коливалася в діапазоні значень 32 – 41% і кореляційна залежність її вмісту від зростання норми внесення ОСВ була більше вираженою. Частка рухомих сполук Ni і Co була найнижчою у контрольному варіанті без внесення добрив – відповідно 4,2 і 9,1%. Однак у варіантах, де вносили ОСВ за різною схемою з різних дозах цей показник коливався в межах 5,1 – 5,4% Ni і 10 – 11% Co та практично не залежало від дози внесення ОСВ.

Найвищі показники вмісту важких металів у зеленій масі і кореневій системі рослин верби енергетичної зафіксовано у варіанті з найвищою дозою внесення ОСВ (варіант 5), а найнижчі – у контрольному варіанті без внесення добрив (табл. 7.2).

Внесення компостів з ОСВ зумовлювало нагромадження важких металів на рівні показників варіантів, де застосовували свіжий ОСВ у дозі 40 – 60 т/га. Збільшення дози внесення компостів зумовлювало підвищення умісту важких металів у рослинах [305 – 308, 312].

Таблиця 7. 2.

Вміст ВМ у зеленій масі та коренях верби енергетичної за внесення ОСВ та його компостів з тирсою (соломою), мг/кг сухої речовини.

№ з/п	Вегетативна маса				Коренева система			
	Pb	Cd	Ni	Co	Pb	Cd	Ni	Co
1.	0,46	1,21	0,99	0,44	0,51	1,22	1,08	0,47
2.	0,61	1,28	1,14	0,53	0,65	1,34	1,16	0,57
3.	0,74	1,69	1,34	0,83	0,86	1,76	1,41	0,94
4.	0,81	1,75	1,54	0,97	0,95	1,86	1,63	1,02
5.	0,960	1,88	1,66	1,21	1,21	1,99	1,73	1,27
6.	0,77	1,72	1,52	0,98	0,91	1,62	1,61	0,91
7.	0,67	1,61	1,53	0,65	0,59	1,57	1,38	0,68
8.	0,72	1,65	1,53	0,75	0,86	1,75	1,44	0,95
9.	0,75	1,67	1,57	0,91	0,89	1,79	1,56	1,01
10.	0,87	1,75	1,65	0,98	0,98	1,86	1,62	1,02

Слід відзначити, що внесення компостів у дозі 20 т/га зумовлювало підвищення вмісту Pb, Cd, Ni у вегетативних органах, порівняно з кореневою системою. Крім цього варіанта (7), у всіх інших варіантах дослідів вміст важких металів у коренях перевищував їх вміст у надземних органах.

Це опосередковано підтверджує тезу, що вербу енергетичну можна використовувати для фіторе mediaції забруднених важкими металами територій, оскільки її рослини здатні акумулювати важкі метали здебільшого у кореневих системах [310].

Внесення ОСВ у дозах 40 – 80 т/га несуттєво впливає на співвідношення вмісту важких металів у вегетативній надземній масі до їх вмісту у коренях, оскільки це співвідношення в умовах дослідів коливалося в межах 0,85 – 0,96 і не залежало від дози ОСВ.

Розрахунок Коефіцієнтів транслокації важких металів (Кт) показав, що внесення ОСВ зумовлює зниження цього показника для плумбуму з 16,7 у контрольному варіанті до 13,6 – 14,9 – у варіантах 3 – 5 з внесенням ОСВ. Внесення компостів підвищувало Кт до 15,9 – 16,2. У варіанті 10 з унесенням з компостом цементного пилу Кт був найвищим з усіх удобрених варіантів і на

рівні контрольного варіанта. Транслокація кадмію також знижувалася під впливом внесення ОСВ, причому з підвищенням норми ОСВ коефіцієнт знижувався з 8,6 до 6,5. Транслокація нікелю зростала з підвищенням дози ОСВ в межах 17,5 – 25,9. Найвищий показник Кт зафіксовано у варіанті 10, де вносили з компостом цементний пил. Транслокація кобальту незначно залежала від норми і форми внесення ОСВ. Вона коливалася у незначному діапазоні значень показника Кт – 0,7 – 0,9. Однак, найвищий Кт був у варіанті, де вносили найвищу дозу ОСВ (5).

На основі показників умісту у ґрунті і рослинах Pb, Cd, Ni, Co розраховували Інтегральний показник забруднення агрофітоценозу верби енергетичної, який дозволяє оцінити ступінь небезпеки забруднення агроєкосистеми з урахуванням рівня небезпеки кожного елемента. У наших дослідженнях найвищим значенням Інтегрального показника забруднення рослинного покриву відзначався варіант з найвищою нормою внесення 80 т/га ОСВ (5) – 25,7. Також високі значення цього показника 22,2 відмічені у варіанті 10, де вносили компост (ОСВ + солома (3 : 1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га. У варіантах, де вносили ОСВ у нормі 40 т/га ОСВ, а також компост у нормі 20 – 40 т/га (варіанти 7 і 8) зафіксовано найнижчі показники забруднення 13,0 – 17,1. Нижчі інтегральні показники забруднення в умовах дослідів спостерігалися тільки у контрольному варіанті і варіанті 2 з мінеральними [312].

Вирощування верби енергетичної на нафтозабруднених ґрунтах з внесенням ОСВ як добрив зумовлює певне зростання вмісту Pb, Cd, Ni і Co у ґрунті. Найвищі показники вмісту міцнозв'язаних форм цих важких металів у ґрунті зафіксовано у варіанті з найвищою нормою внесення ОСВ – 80 т/га. Проте частка рухомих форм важких металів у ґрунті змінюється непропорційно внесений нормі ОСВ. Коефіцієнти транслокації важких металів у вербі енергетичній змінюються непропорційно внесеним добривам, однак найвищі дози ОСВ зумовлюють найвищі показники транслокації важких металів у рослинах.

Вербу енергетичну з успіхом можна вирощувати з метою ремедіації нафтозабруднених територій, оскільки важкі метали нагромаджуються переважно у кореневих системах і меншою мірою у вегетативній масі, яка використовується як біомаса на енергетичні цілі. Екологічно безпечною є доза 40 – 60 т/га, які зумовлюють величину інтегрального показника забруднення важкими металами на рівні внесення компостів ОСВ зі соломою зернових культур.

Для характеристики біогенної міграції важких металів і біогеохімічних характеристик рослин визначали коефіцієнт біологічного поглинання, коефіцієнта накопичення та концентрації елементів у рослинах.

Гранично допустима концентрація рухомих форм у ґрунті для плюмбуму (Pb) – 6,0 мг/кг ґрунту, для кадмію – 0,7 мг/кг ґрунту. Вміст плюмбуму в контрольному варіанті (фоновий варіант) становив 3,05 мг/кг ґрунту.

Вміст кадмію становив 0,19 мг/кг ґрунту на ділянці вирощування міскантуса. Із застосуванням $N_{60-90} P_{60-90} K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3) вміст плюмбуму і кадмію збільшилися в межах 3,21–3,84 та 0,32–0,57 мг/кг ґрунту, відповідно. Найвищий вміст мобільної форми плюмбуму спостерігалось в ґрунті з дозою внесення ОСВ 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) та компосту з розрахунку 30 т/га та $N_{30}P_{33}K_{66}$ (варіант 8), що становило 4,30 та 3,90 мг/кг ґрунту відповідно (табл. 7.3) [315].

Вміст кадмію залежав від доз внесення добрив, сягаючи максимуму у варіанті 4 (ОСВ 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$) і 0,44 мг/кг ґрунту, що на 0,25 мг/кг ґрунту вище ніж у контрольному варіанті.

Найвищий вміст мобільних форм плюмбуму відзначено в ґрунті після внесення ОСВ 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) та компосту у дозі 30 т/га та $N_{30}P_{33}K_{66}$ (варіант 8), а також після внесення ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$, що становило 3,79 та 3,69 мг/кг ґрунту відповідно для вирощування світчграсу [305 - 308].

Таблиця 7.3

**Вміст рухомих форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті для
вирощування рослин**

Варіант	Вміст у ґрунті за вирощування міскантусу		Вміст у ґрунті за вирощування світчґраса	
	мг/кг			
	Pb	Cd	Pb	Cd
Без добрив (контроль)	3,15	0,23	3,01	0,18
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,31	0,32	3,26	0,21
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	3,94	0,57	3,79	0,26
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	3,69	0,49	3,31	0,25
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	3,99	0,39	3,78	0,27
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	4,41	0,44	4,11	0,33
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	3,68	0,33	3,51	0,24
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	4,1	0,41	3,69	0,26
НІР _{0,05}	0,34	0,03	0,38	0,02

Вміст кадмію відрізнявся від доз і форм внесення добрив і становив максимум 0,33 мг/кг ґрунту у випадку внесення ОСВ у дозі 20 т/га та N₅₀P₅₂K₇₄ (варіант 4), що на 0,15 мг/кг ґрунту переважав вміст у контрольному варіанті.

Вміст плумбуму в ґрунті становив 12,46 мг/кг ґрунту у контрольному варіанті та 13,01 мг/кг ґрунту у варіанті 8 (компост (ОСВ + солома (3:1)) 30 т/га + N₃₀K₅₅), що на 0,55 мг/кг ґрунту більше порівняно з контрольним [307].

Вміст плумбуму у випадку внесення ОСВ з розрахунку 20–40 т/га становить 12,62–13,27 мг/кг ґрунту, що на 0,16–0,81 мг/кг ґрунту перевищує показник контрольного варіанта на ділянках вирощування міскантусу (табл. 7.4), що на 0,17–0,31 мг/кг ґрунту перевищувало контрольний варіант. Зміст міцнозв'язаних форм свинцю в ґрунті становила 12,41 мг/кг ґрунту у контрольному варіанті, а 14,21 мг/кг ґрунту у варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈) для вирощування світчґрасу [305 - 308].

Таблиця 7.4

Вміст міцнозв'язаних форм важких металів у нафтозабрудненому ґрунті за вирощування рослин

Варіанти	Вміст у ґрунті за вирощування міскантусу		Вміст у ґрунті за вирощування світчґраса	
	мг/кг ґрунту			
	Pb	Cd	Pb	Cd
Без добрив (контроль)	12,46	0,57	12,27	0,71
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,63	0,99	12,79	0,85
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	12,67	1,21	12,91	1,1
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	12,62	0,94	12,83	0,83
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	13,21	1,21	13,48	0,96
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	13,27	1,38	14,21	1,17
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	12,92	1,01	13,61	0,91
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	13,11	0,94	13,85	0,83
НІР _{0,05}	1,66	0,38	2,44	0,38

Вміст міцнозв'язаних форм плюмбуму за внесення ОСВ у дозі 20–40 т/га становив 12,83–14,21 мг/кг ґрунту відповідно, що становить 0,42–1,8 мг/кг ґрунту, перевищувала контрольний варіант. Однак вміст міцнозв'язаних форм кадмію неоднаковий в межах 0,61 мг/кг ґрунту на контролі та 0,87 мг/кг ґрунту у варіанті 6 (ОСВ – 40 т/га + N₁₀P₁₄K₅₈ за вирощування світчграса. Зміст міцнозв'язаних форм кадмію для застосування ОСВ при дозі 20 – 40 т/га становить 0,70 – 0,87 мг/кг ґрунту, що на 0,09–0,26 мг/кг ґрунту вище ніж у контрольному варіанті. Однак у варіантах 7 і 8 вміст рухомих форм кадмію становить 0,81 – 0,83 мг/кг ґрунту відповідно [308].

Значення коефіцієнтів концентрації рухомої форми плумбуму в нафтозабрудненому ґрунті за варіантами дослідів змінювалися в межах 1,05 – 1,51 протягом вирощування міскантусу. Внесення осаду стічних вод із розрахунку 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) змінили значення коефіцієнта концентрації на рівні 1,24 – 1,51, що перевищувало контроль (варіант 1) відповідно на 0,19–0,46. Значення концентрації коефіцієнтів рухомих форм кадмію змінювалися в межах 1,68 – 2,62. У разі внесення осаду стічних вод у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4–6) значення коефіцієнтів концентрації становило 2,38 – 2,62 (табл. 7.5).

Таблиця 7.5

Коефіцієнти концентрації важких металів у нафтозабрудненому ґрунті для вирощування міскантусу та світчграсу

№п/п	Pb	Cd	Pb*	Cd*	Pb	Cd	Pb*	Cd*
	Міцнозв'язана форма				Рухома форма			
2	1,05	1,68	1,12	1,17	1,01	1,09	1,02	1,18
3	1,19	1,71	1,22	1,44	1,02	1,43	1,04	1,36
4	1,24	2,38	1,16	1,39	1,03	1,25	1,03	1,15
5	1,30	2,55	1,38	1,57	1,03	1,34	1,09	1,25
6	1,51	2,62	1,42	1,93	1,09	1,56	1,15	1,49
7	1,14	1,73	1,17	1,63	1,04	1,22	1,13	1,33
8	1,28	2,11	1,23	1,79	1,07	1,40	1,14	1,36

Примітка: Cd, Pb – вміст у ґрунті за вирощування міскантусу; Cd*, Pb* – вміст у ґрунті за вирощування світчграсу.

Під час вирощування світчграсу показник коефіцієнтів концентрації рухомих форм плумбуму у нафтозабрудненому ґрунті змінювався в межах 1,12 – 1,42. Після внесення ОСВ стічних вод у дозі 20 – 40 т/га (варіант 4 – 6) ці показники становили 1,16 – 1,42 та перевищували контрольний варіант на 0,04 – 0,30 відповідно. Значення коефіцієнтів концентрації рухомих форм кадмію у

грунті змінювалося в межах 1,17 – 1,93, а після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) досягало 2,38 – 2,62.

Значення коефіцієнтів концентрації міцнозв'язаних форм плюмбуму у варіантах коливаються в межах 1,01 – 1,09 у випадку вирощування міскантуса. Після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) показник коефіцієнта концентрації становив 1,03 – 1,09. Значення коефіцієнтів концентрації міцнозв'язаних форм кадмію змінювалися в межах 1,09 – 1,56, максимальним значення цього показника було у варіантах внесення осаду стічних вод у дозі 40 т /га зі застосуванням $N_{10}P_{14}K_{58}$. Значення коефіцієнтів концентрації міцнозв'язаних форм плюмбуму за вирощування світчграсу у нафтозабрудненому ґрунті за внесення осаду стічних вод у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) дорівнював 1,02 – 1,15. Коефіцієнт концентрації міцнозв'язаних форм кадмію змінюється в межах 1,18 – 1,49, максимальним залишався у варіантах за внесення осаду стічних вод у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ і становив 1,49. Проте у варіантах 7 та 8 вміст коефіцієнтів концентрації міцнозв'язаних форм кадмію на ділянках світчграсу дорівнював відповідно 1,33 та 1,36 мг/кг ґрунту.

Концентрації плюмбуму у зеленій масі міскантуса досягали максимальних значень за внесення ОСВ у дозі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) і становив 0,96 мг/кг рослини і що перевищувало концентрацію у контрольному варіанті (варіант 1) на 0,52 мг/кг рослини. Після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіант 4 – 6) вміст кадмію становив 1,45 – 1,6 мг/кг рослини відповідно і перевищував контроль на 0,28 – 0,43 мг/кг рослини.

Вміст плюмбуму у зеленій масі світчграсу змінювався в межах 0,49 – 1,17 мг/кг рослини, за внесення ОСВ у дозі – 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ становив 1,17 мг/кг рослини (варіант 6), що на 0,68 мг/кг рослини перевищує показник контролю (варіант 1). За внесення компостів на основі ОСВ у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{16}K_{67}$ та у дозі 30 т/га + $N_{30}K_{55}$ вміст плюмбуму у зеленій масі світчграсу дорівнював 1,0 – 0,92 мг/кг рослини. Вміст кадмію змінювався в межах 1,27 – 1,77 мг/кг рослини (рис. 7.1).

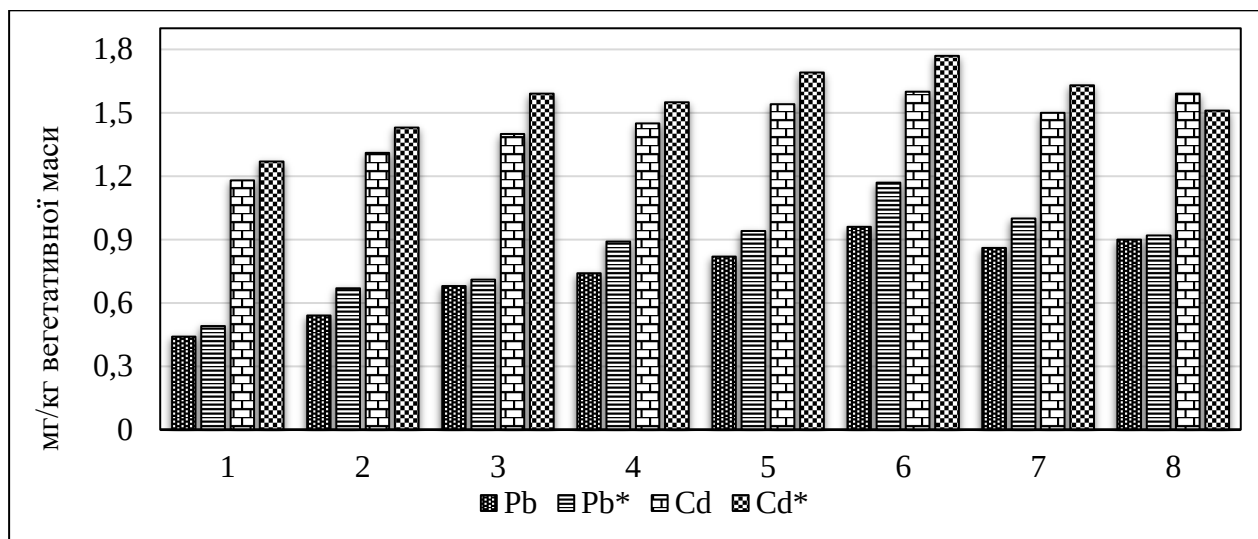


Рис. 7.1. Вміст важких металів міцнозв'язаної форми у зеленій масі міскантуса та світчграсу після внесення добрив на основі осаду стічних вод (одного циклу вирощування)

Примітка:

Cd, Pb – вміст у ґрунті за вирощування міскантуса

Cd*, Pb* – вміст у ґрунті за вирощування світчграсу

Відмічено взаємозв'язок між вмістом плумбуму в зеленій масі з його вмістом у підземній частині міскантуса та у ґрунті (рис. 7.2).

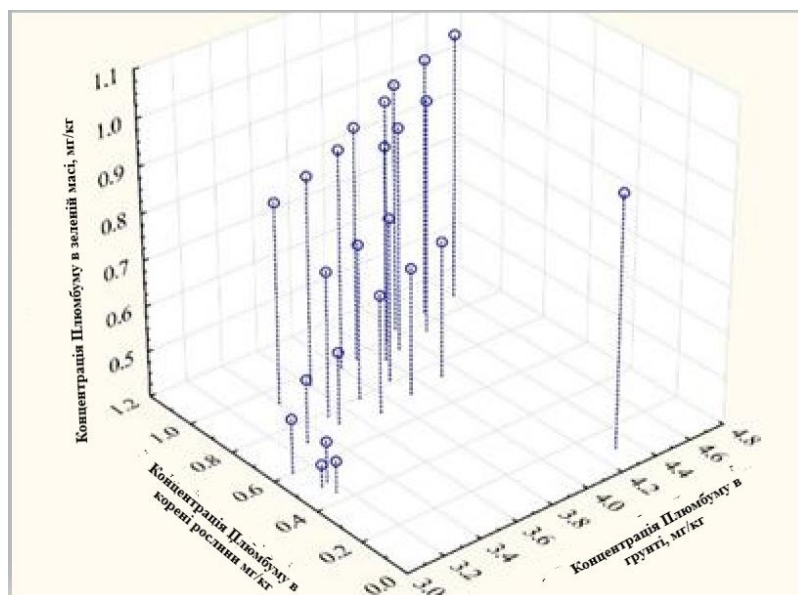


Рис.7.2. Залежність вмісту плумбуму в зеленій масі від його вмісту у коренях міскантуса та у ґрунті (після одного циклу вирощування)

Після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст плумбуму в зеленій масі міскантуса дорівнював 0,74 – 0,96 мг/кг рослини, у кореневій системі відповідно становив 0,89 – 1,05 мг/кг рослини, а в ґрунті – 3,69 – 4,41 мг/кг ґрунту. Після внесення компостів у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) вміст плумбуму в зеленій масі дорівнював 0,86 – 0,93 мг/кг рослини, в кореневій системі відповідно становив 0,94 – 0,99 мг/кг рослини, а в ґрунті – 3,68 – 4,10 мг/кг ґрунту.

$$z = 0,6275 - 0,0508x + 0,0508y$$

де z – вміст плумбуму в зеленій масі, мг/кг рослини,

x – вміст плумбуму у досліджуваному ґрунті, мг/кг рослини,

y – вміст плумбуму у корені, мг/кг ґрунту.

Множинний коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,71$) вказує на тісний кореляційний зв'язок між цими показниками.

Подібні кореляційні зв'язки встановлено для вмісту кадмію в зеленій масі у кореневій системі міскантуса та у досліджуваному ґрунті (рис. 7.3).

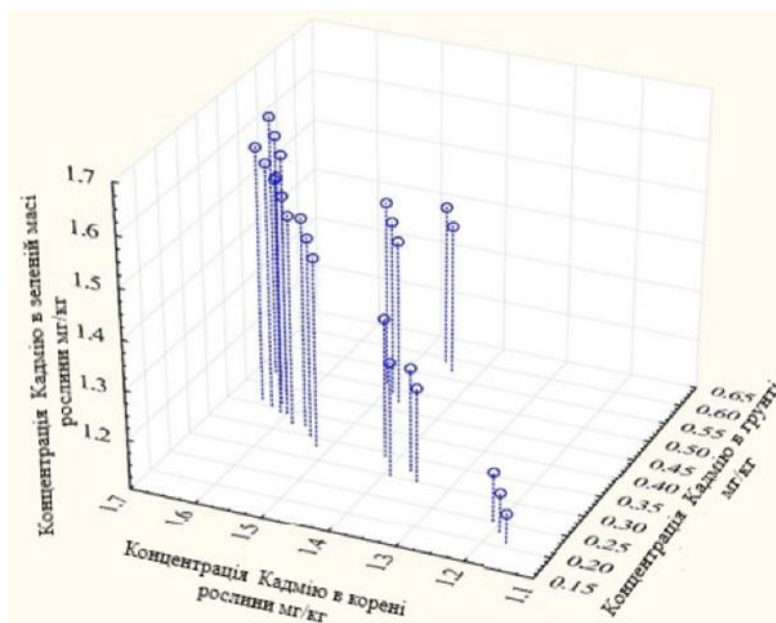


Рис. 7.3. Залежність вмісту кадмію в зеленій масі його вмісту у коренях міскантуса та у ґрунті (після одного циклу вирощування)

Після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст кадмію в зеленій масі міскантуса становив 1,45 – 1,60 мг/кг рослини, вміст кадмію у кореневій системі відповідно становив 1,49 – 1,60 мг/кг рослини, а в ґрунті – 0,41 – 0,50 мг/кг ґрунту. Після внесення компостів у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) вміст кадмію в зеленій масі дорівнював 1,51 – 1,59 мг/кг, вміст кадмію у кореневій системі міскантуса відповідно становив 1,54 – 1,63 мг/кг рослини, а в ґрунті – 0,33 – 0,43 мг/кг ґрунту.

$$z = -1,1635 + 0,5536x + 2,2951y + 1,0457x^2 - 1,8282xy + 0,1384y^2,$$

де z – вміст кадмію в зеленій масі, мг/кг рослини,

x – вміст кадмію у досліджуваному ґрунті, мг/кг рослини,

y – вміст кадмію у корені, мг/кг ґрунту.

Множинний коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,79$) вказує на високий кореляційний зв'язок між цими показниками.

Взаємозв'язок вмісту плюмбуму в зеленій масі від його вмісту у коренях світчграсу та у досліджуваному ґрунті відображено на рис. 7.4.

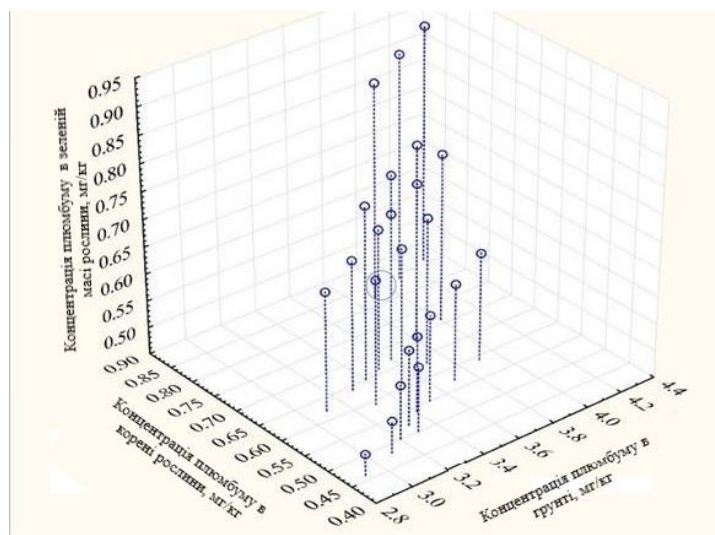


Рис. 7.4. Залежність вмісту плюмбуму в зеленій масі від його вмісту у коренях світчграсу та у дослідженому ґрунті (після одного циклу вирощування)

Після внесення осаду стічних вод у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст плумбуму в зеленій масі світчграса становив 0,69 – 0,87 мг/кг рослини, вміст плумбуму у корені відповідно становив 0,64 – 0,84 мг/кг рослини, а в ґрунті – 3,31 – 4,10 мг/кг ґрунту.

Після внесення компостів у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) вміст плумбуму в зеленій масі становив 0,70 – 0,79 мг/кг, вміст плумбуму у корені світчграсу відповідно становив 0,61 – 0,67 мг/кг рослини, а в ґрунті – 3,51 – 3,69 мг/кг ґрунту.

$$z = -1,5692 + 0,1227x + 1,2354y,$$

де z – вміст плумбуму в зеленій масі, мг/кг рослини

x – вміст плумбуму у досліджуваному ґрунті, мг/кг рослини

y – вміст плумбуму у корені світчграсу, мг/кг ґрунту.

Множинний коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,78$) вказує на високий кореляційний зв'язок між цими показниками.

Взаємозв'язок вмісту кадмію в зеленій масі від його вмісту у кореневій системі світчграсу та у досліджуваному ґрунті зображено на рис. 7.5.

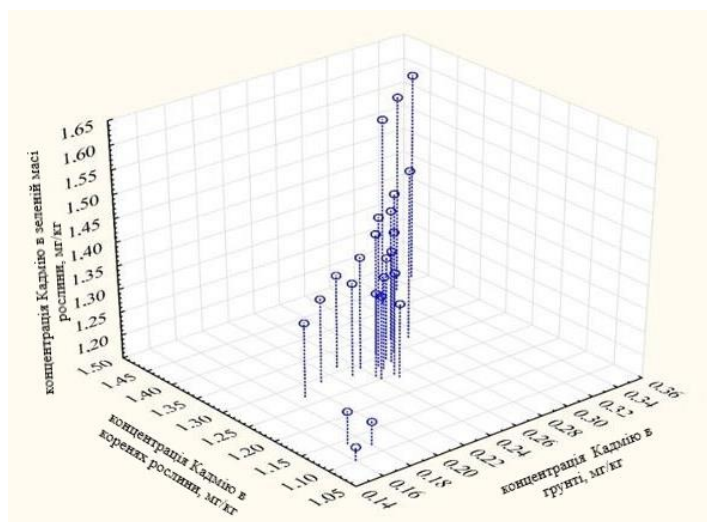


Рис. 7.5. Залежність вмісту кадмію в зеленій масі від його вмісту у коренях світчграсу та у дослідженому ґрунті (після одного циклу вирощування)

Після внесення осаду стічних вод у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст кадмію в зеленій масі світчграсу дорівнював 1,35 – 1,57 мг/кг рослини, вміст кадмію у корені відповідно становив 1,27 – 1,44 мг/кг рослини, а в ґрунті – 0,25 – 0,37 мг/кг ґрунту. За внесення компостів у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) вміст кадмію в зеленій масі становив 1,33 – 1,41 мг/кг, вміст кадмію у корені світчграсу відповідно становив 1,26 – 1,31 мг/кг рослини, а в ґрунті – 0,24 – 0,29 мг/кг ґрунту.

$$z = -0,0159 + 0,3591x + 0,9655y$$

де z – вміст плюмбуму в зеленій масі, мг/кг рослини

x – вміст плюмбуму у досліджуваному ґрунті, мг/кг рослини

y – вміст плюмбуму у корені, мг/кг ґрунту.

Множинний коефіцієнт детермінації ($R^2 = 0,74$) вказує на високий кореляційний зв'язок між цими показниками.

Для визначення інтенсивності міграції важких металів з ґрунту в рослини використано коефіцієнт біологічного поглинання (рис. 7.6).

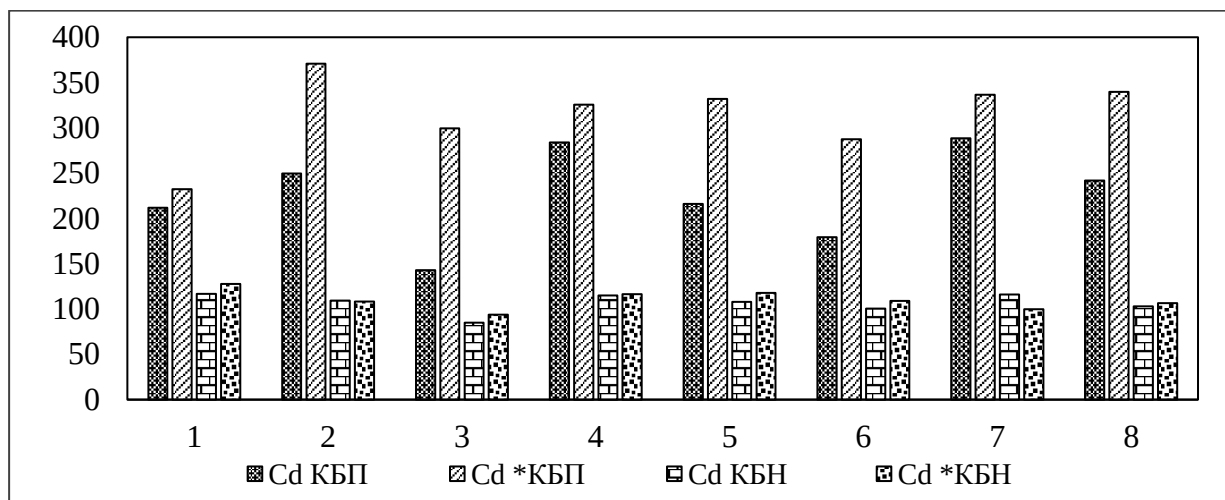


Рис. 7.6. Коефіцієнти біологічного поглинання та накопичення кадмію міскантусом та світчграсом після внесення у ґрунт добрив (після одного циклу вирощування)

Примітка: Cd – вміст у ґрунті під насадженнями міскантуса

Cd* – вміст у ґрунті під насадженнями світчграсу

КБП – коефіцієнт біологічного поглинання

КБН – коефіцієнт біологічного накопичення

Найнижчі коефіцієнти біологічного поглинання кадмію міскантусом відзначено після внесення у ґрунт добрива $N_{90}P_{90}K_{90}$ (варіант 3), а плюмбуму – у контрольному варіанті дослідів. У всіх варіантах дослідів плюмбум та кадмій належать до елементів швидкого накопичення.

Максимальні коефіцієнти біологічного поглинання плюмбуму характерні для міскантуса, після внесення ОСВ у дозі ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$, кадмію – за внесення компосту на основі осаду стічних вод та соломи (3:1) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$.

Найнижчі коефіцієнти біологічного поглинання кадмію відзначено під час вирощування світчграсу на ділянках з внесенням мінеральних добрив $N_{90}P_{90}K_{90}$ (варіант 3), плюмбуму – після внесення у ґрунт $N_{60}P_{60}K_{60}$. За інтенсивністю біологічного поглинання елементи: плюмбум та кадмій належать до І групи і є елементами швидкого накопичення. Максимальні коефіцієнти біологічного поглинання плюмбуму характерні для світчграсу, після внесення ОСВ у дозі ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$, кадмію – після внесення осаду стічних вод та соломи (3:1) – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$ [308].

Найнижчі коефіцієнти біологічного накопичення кадмію міскантусом зафіксовані на ділянках де було внесено $N_{90}P_{90}K_{90}$, показник плюмбуму – за внесення компосту у дозі 30 т/га та $N_{30}K_{55}$. Для світчграсу та міскантуса до елементів інтенсивного поглинання належать плюмбум, до елементів дуже інтенсивного поглинання належить кадмій.

Найнижчий коефіцієнт біологічного накопичення кадмію світчграсом зафіксовано за внесення у ґрунт ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$, плюмбуму – у контрольному варіанті. (рис. 7.7).

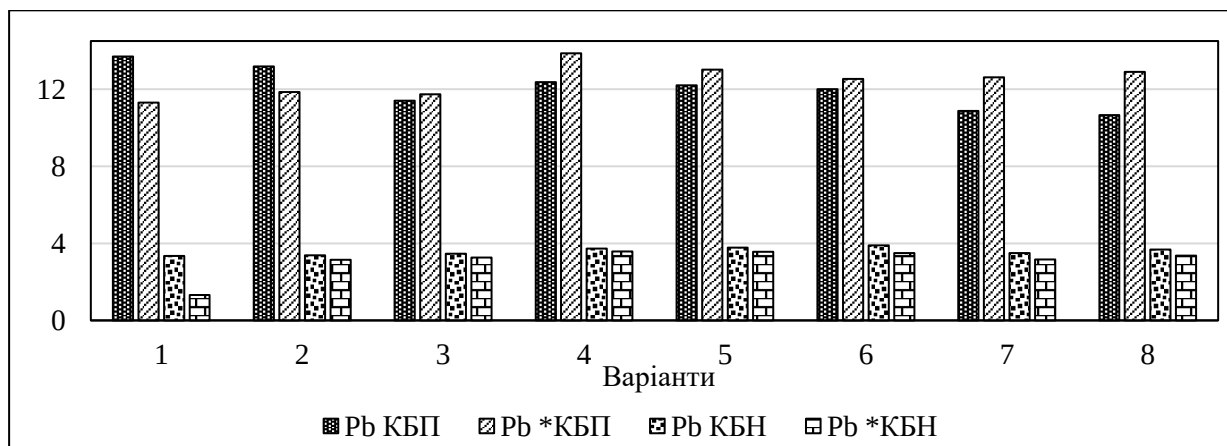


Рис. 7.7. Коефіцієнти біологічного поглинання та накопичення плюмбуму міскантусом та світочграсом після внесення у ґрунт добрив (після одного циклу вирощування)

Примітка: Pb – вміст у ґрунті під насадженнями міскантуса,
Pb* – вміст у ґрунті під насадженнями світочграса,
КБП – коефіцієнт біологічного поглинання,
КБН – коефіцієнт біологічного накопичення

За допомогою методу кореляційного аналізу встановлено, залежність вмісту плюмбуму та кадмію в зеленій масі від вмісту важких металів у золі рослин міскантуса (рис. 7.8).

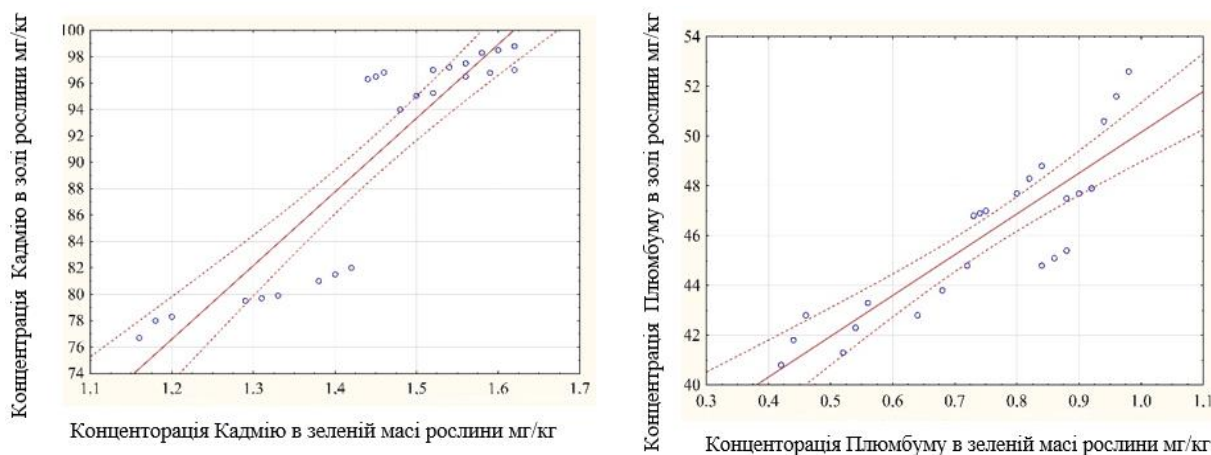


Рис. 7.8. Кореляційна залежність між вмістом важких металів (Pb, Cd) в зеленій масі та в золі міскантуса (після одного циклу вирощування)

Вміст плюмбуму у вегетативній масі рослини у контрольному варіанті становить 0,47 мг/кг рослини, а його вміст у золі – 41,8 мг/кг рослини. Після

внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3) вміст плюмбуму у зеленій масі підвищився на 0,54 – 0,68 мг/кг рослини, відповідно вміст досліджуваного металу в золі – на 0,85 – 2,0 мг/кг рослини. Після внесення добрива на основі ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст плюмбуму становив 0,74 – 0,96 мг/кг рослини в зеленій масі, а вміст в золі відповідно 46,90 – 51,6 мг/кг рослини. Після внесення компостів на основі ОСВ у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 і 8) вміст плюмбуму у зеленій масі міскантуса становив 0,86 – 0,93 мг/кг рослини, що на 0,39 – 0,46 мг/кг рослину більше за вміст у контрольному варіанті, проте його вміст у золі плюмбуму у варіантах 7 – 8 відповідно 45,1–47,7 мг/кг рослини [304].

Кореляційну залежність вмісту плюмбуму в зеленій масі від вмісту плюмбуму в золі рослин міскантуса можна описати таким рівнянням множинної регресії:

$$y = 33,7492 + 16,4097 * x,$$

де y – вміст плюмбуму в золі, мг/кг рослини;

x – вміст плюмбуму у вегетативній масі, мг/кг рослини.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати високою, оскільки коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,70$, а коефіцієнт кореляції $r = 0,73$.

Вміст кадмію у вегетативній масі рослини у контрольному варіанті становив 1,18 мг/кг рослини, а вміст металу у золі – 78,24 мг/кг рослини. Після внесення мінеральних добрив у нормі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3) вміст кадмію у зеленій масі підвищився на 0,13 – 0,22 мг/кг рослини, відповідно вміст досліджуваного металу в золі – на 1,62 – 3,30 мг/кг рослини. За внесення удобрення на основі ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст кадмію дорівнював 1,45 – 1,60 мг/кг рослини в зеленій масі, а вміст в золі відповідно 96,56 – 98,57 мг/кг рослини [308].

Проте, за внесення компостів на основі осаду стічних вод у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 і 8) вміст кадмію в зеленій масі міскантуса становить 1,50 – 1,59 мг/кг

рослини, що на 0,32 – 0,41 мг/кг рослину більше за вміст у контрольному варіанті. Проте вміст в золі кадмію у варіантах 7 – 8 відповідно 95,15 – 96,78 мг/кг рослини.

Кореляційну залежність вмісту кадмію в зеленій масі від вмісту кадмію в золі рослин міскантуса можна описати таким рівнянням множинної регресії:

$$y = 9,6105 + 55,8176 \cdot x;$$

де y – вміст кадмію в золі, мг/кг рослини;

x – вміст кадмію у вегетативній масі, мг/кг рослини.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати високою, оскільки коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,73$, а коефіцієнт кореляції $r = 0,79$ (рис. 7.9).

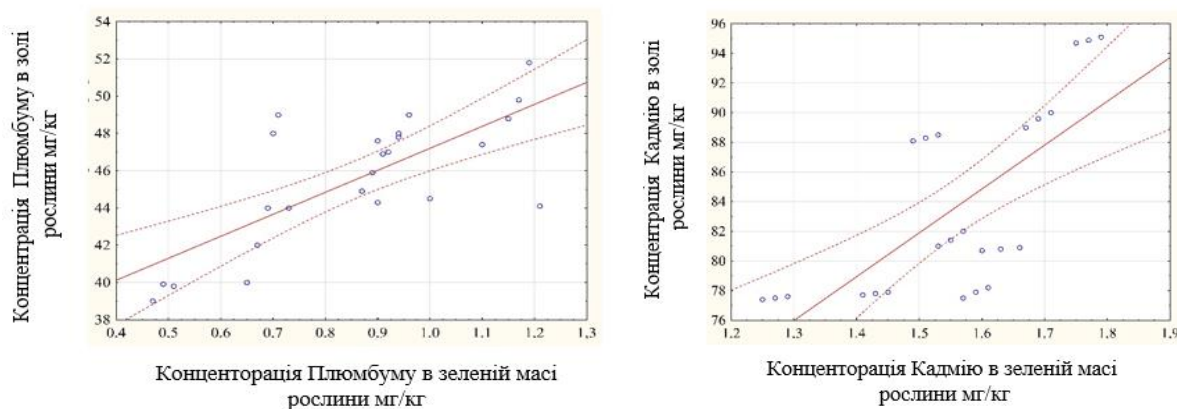


Рис. 7.9. Кореляційна залежність між вмістом важких металів (Pb, Cd) в зеленій масі та в золі світчграсу (після одного циклу вирощування)

Вміст плумбуму у вегетативній масі рослини у контрольному варіанті становить 0,49 мг/кг рослини, а вміст металу у золі – 30,91 мг/кг рослини. За внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3) вміст плумбуму у зеленій масі підвищився на 0,57 – 0,61 мг/кг рослини, а вміст досліджуваного металу в золі – на 8,89 – 11,19 мг/кг рослини. За внесення удобрення на основі осаду стічних вод у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст

плюмбуму становив 0,69 – 0,87 мг/кг рослини в зеленій масі, 45,90 – 49,80 мг/кг рослини – у золі.

Проте, після внесення компостів на основі осаду стічних вод у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 і 8) вміст плюмбуму у зеленій масі світчграсу становив 0,70 – 0,79 мг/кг рослини, що на 0,20 – 0,3 мг/кг рослину більше за вміст у контрольному варіанті. Вміст у золі плюмбуму у варіантах 7 – 8 становив 44,30 – 47,60 мг/кг рослини.

Кореляційну залежність вмісту плюмбуму в зеленій масі від вмісту плюмбуму в золі рослин світчграсу можна описати таким рівнянням множинної регресії:

$$y = 35,3968 + 11,8039x,$$

де y – вміст плюмбуму в золі, мг/кг рослини;

x – вміст плюмбуму у вегетативній масі, мг/кг рослини.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати високою, оскільки коефіцієнт детермінації становив $R^2=0,71$, а коефіцієнт кореляції $r=0,75$.

Вміст кадмію у вегетативній масі рослини у контрольному варіанті становив 1,20 мг/кг рослини, а вміст металу у золі – 77,81 мг/кг рослини. За внесення мінеральних добрив у дозі $N_{60-90}P_{60-90}K_{60-90}$ (варіанти 2 і 3) вміст кадмію у зеленій масі підвищився на 0,13 – 0,19 мг/кг рослини, відповідно вміст досліджуваного металу в золі – на 0,03 – 0,09 мг/кг рослини. Після внесення добрив на основі ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) вміст кадмію становив 1,35– 1,57 мг/кг рослини в зеленій масі, а вміст в золі відповідно 81,40 – 94,90 мг/кг рослини [310].

Проте, після внесення компостів на основі осаду стічних вод у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 і 8) вміст кадмію в зеленій масі світчграсу становив 1,33 – 1,41 мг/кг рослини, що на 0,13 – 0,21 мг/кг рослину більше за вміст у контрольному варіанті. Вміст у золі кадмію у варіантах 7 – 8 відповідно 80,81 – 88,30 мг/кг рослини.

Кореляційну залежність вмісту кадмію в зеленій масі від вмісту кадмію в золі рослин світчграсу можна описати таким рівнянням множинної регресії:

$$y = 37,4967 + 29,5975 \cdot x;$$

де y – вміст кадмію в золі, мг/кг рослини;

x – вміст кадмію у вегетативній масі, мг/кг рослини.

За результатами кореляційно-регресійного аналізу цю залежність можна вважати високою, оскільки коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,75$, а коефіцієнт кореляції $r=0,80$.

Висновки до розділу 7

1. Згідно проведених досліджень на нафтозабруднених ґрунтах, після внесення різних доз осаду стічних вод, вміст плумбуму у насадженнях міскантуса зростає за внесення ОСВ 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ (варіант 6) і становить 4,30 мг/кг ґрунту. Проте, за вирощування світчграсу після внесення такої ж норми добрив, вміст плумбуму рівний 3,97 мг/кг ґрунту, що на 0,33 мг/кг ґрунту, менше ніж вирощування міскантуса.

Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм плумбуму коливаються в межах 1,01 – 1,09 під час вирощування міскантуса. Коефіцієнт концентрації міцнозв'язаних форм кадмію змінюється в межах 1,09 – 1,56, максимальним залишається у варіантах після внесення осаду стічних вод у дозі 40 т /га і $N_{10}P_{14}K_{58}$. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм плумбуму у випадку вирощування світчграсу після внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіант 4 – 6) рівні 1,02 – 1,15. Коефіцієнт концентрації міцнозв'язаних форм кадмію змінюється в межах 1,18 – 1,49.

Залежність вмісту кадмію та плумбуму в зеленій масі від вмісту досліджуваних металів у коренях світчграсу та міскантуса та у дослідженому ґрунті вказує на високий кореляційний зв'язок між цими показниками, множинний коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,71 – 0,79$. Аналіз кореляційних залежностей вмісту важких металів у системі ґрунт-рослина дає

можливість використовувати рослини світчграсу та міскантуса як біоіндикатори забруднення довкілля нафтопродуктами.

Коефіцієнти біологічного поглинання плюмбуму міскантусом є меншими на 0,5 порівняно із вирощуванням світчграсу у разі внесення ОСВ у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{52}K_{74}$, але коефіцієнти біологічного накопичення плюмбуму за вирощування міскантуса є вищими на 0,14. Коефіцієнт біологічного поглинання кадмію за вирощування світчграсу та міскантуса становить 336,67 та 288,33 відповідно (варіант 7).

Згідно поділу важких металів на групи кадмій та плюмбум за інтенсивністю біологічного поглинання належать до І групи і є елементами енергійного накопичення. Така особливість енергетичних культур (світчграс та міскантус) має велике значення для відтворення екологічної стійкості ґрунтового покриву і дає можливість застосовувати їх для рекультивації та ревіталізації нафтозабруднених ґрунтів.

Основні наукові результати розділу відображені авторкою у публікаціях експериментального характеру [96 – 99, 304 – 312].

РОЗДІЛ 8

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ОСАДУ СТИЧНИХ ВОД ЗА ВИРОЩУВАННЯ ФІТОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

У зв'язку зі зростанням цін на імпортований газ з'явилась нагальна потреба замінити його дешевшим аналогом – твердим паливом. Одним із способів її вирішення є використання енергетичного потенціалу нових видів сільськогосподарських культур. Значну кількість рослин було досліджено для визначення потенційної можливості їх використання як фітоенергетичних культур і виявлено найефективніші. Деякі з них через низку переваг вже вирощують на великих площах.

Найпоширенішими енергетичними культурами на сьогодні є верба енергетична, міскантус, світчграс, сильфія пронизанолиста топінамбур. Ці культури є невибагливими до умов вирощування, екологічно пластичними і економічно доцільними. Верба енергетична, міскантус, світчграс та сильфія пронизанолиста (використовуються протягом 10 – 20 років, підготовка ґрунту та догляд не потребує великих затрат, при цьому щорічно збирається високий урожай). Забезпечує певний позитивний соціальний ефект у сільській місцевості, оскільки плантації цих культур сприяють зайнятості населення та створенні певної кількості робочих місць [2].

Це особливо актуально в умовах неповної зайнятості сільського населення, а також у менш розвинених в аграрному відношенні районах, які відзначаються обмеженістю земельних ресурсів, наявністю малопродуктивних і неоднорідних за рельєфом та агрохімічними властивостями ґрунтів.

Завдяки довготерміновому використанню насаджень верби енергетичної, а також постійно зростаючому попиту на джерела поновлюваної енергії, вирощування верби енергетичної допомагає вирішувати соціально-економічні задачі та сприяє економічній привабливості території та її збалансованому

розвитку. Збір біомаси верби енергетичної другого циклу використання, проводили взимку. Плантація верби енергетичної відновилася із пеньків після зрізування напровесні і не знизилася своєї продуктивності, а навпаки збільшилася. Продуктивність верби енергетичної 2 - го циклу використання (рис.8.1).

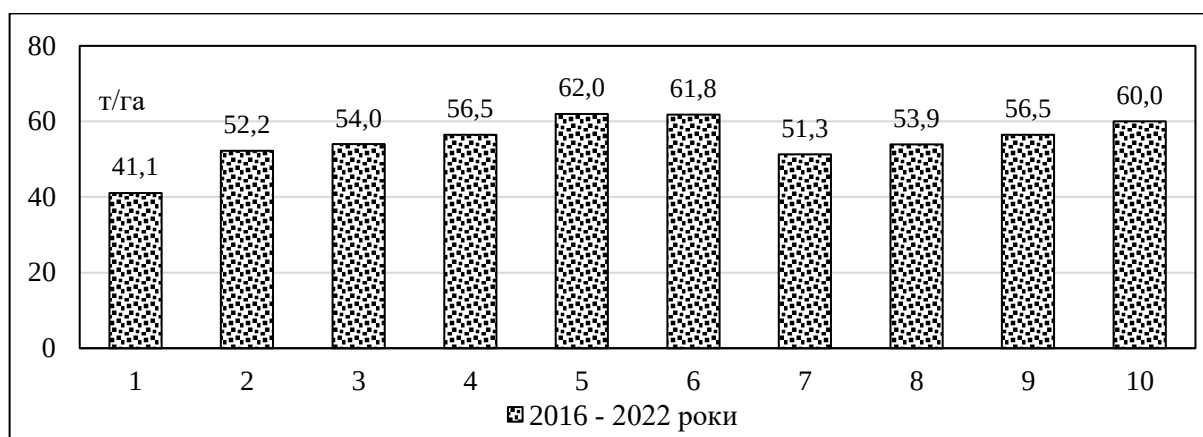


Рис. 8.1. Продуктивність верби енергетичної, 2016 - 2022 роки

Для господарств, які займаються вирощуванням верби енергетичної, важливим є питання вибору довжини циклу збору біомаси, оскільки від циклічності збору залежить її енергетична цінність, затрати на одиницю вирощеної продукції, обсяг збору біомаси з одиниці площі та інші показники ефективності виробництва (рис.8.2).



Рис. 8.2. Верба енергетична на колекційно - дослідному полі

Такі показники вартості енергії були співрозмірними з показниками, які наведені в дослідженнях [333].

Цей показник, використали під час оцінки величини енергетичного потенціалу насаджень верби енергетичної 2 - го циклу використання за різних умов повторного мінерального живлення верби енергетичної.

Згідно розрахунків затрати на вирощування верби енергетичної у контрольному варіанті становили 4923 грн/га (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

**Економічна та енергетична ефективність вирощування верби енергетичної
2-го циклу використання, середнє 2020 - 2022рік [314]**

Варіант	Затрати на вирощування		Собівартість виробництва, грн/г	Собівартість отриманої енергії, грн/МДж	Коефіцієнт енергетичної ефективності (K _{ee})
	грн/га	МДж/га			
1. Без добрив – контроль	4923	565031,70	230,00	0,0077	5,06
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	6535	750071,30	226,50	0,0102	6,72
3. ОСВ – 40 т/га	7240	831026,15	220,38	0,0113	7,45
4. ОСВ – 60 т/га	7456	855808,25	225,63	0,0116	7,67
5. ОСВ – 80 т/га	7571	869025,37	229,60	0,0118	8,38
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	7255	832678,30	206,0	0,0113	7,46
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	7025	806244,10	219,94	0,0109	7,23
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	7427	852503,97	213,38	0,0116	7,64
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	7557	867373,22	249,54	0,0118	8,07
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	6780	778157,70	198,52	0,0106	7,13

За внесення ОСВ, враховуючи всі перевезення та підготовку до повторного внесення, витрати на вирощування верби енергетичної зросли і до 6780 грн/га. За повторного внесення компостів затрати на вирощування зменшились і найменша вартість вирощування верби енергетичної досягла 7025 грн/га, у випадку внесення компосту на основі ОСВ та соломи у дозі 20 т/га. Після внесення компосту на основі ОСВ та тирси у співвідношенні 3:1 у нормі 60 т/га (варіант 6) затрати на вирощування верби енергетичної становили 7255 грн/га, що на 2332 грн/га перевищували контрольний (варіант 1). За внесення компосту на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у дозі 20 – 60 т/га (варіант 7 – 9) затрати на вирощування верби енергетичної становили 7025 – 7557 грн/га, що на 2102 – 2634 грн/га перевищували показник контрольного варіанта.

Собівартість виробництва змінювалась також залежно від варіанту внесення добрив. Зокрема, у контрольному варіанті без добрив собівартість виробництва залишалася найвищою і становила 230 грн/т, у випадку внесення ОСВ у дозі 40 т/га собівартість досягала 220,38 грн/т. За внесення 60 т/га та 80 т/га ОСВ збільшило собівартість вирощування верби енергетичної підвищилась до 225,6 та 229,6 грн/т відповідно.

За внесення компосту на основі ОСВ та тирси у співвідношенні 3:1 у дозі 60 т/га (варіант 6) собівартість виробництва становила 206,0 грн/т, що на 24 грн/т менше, ніж у контрольному (варіанті 1). Після внесення компосту на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у дозі 20 – 60 т/га (варіант 7 – 9) собівартість виробництва становила 219,94 – 249,54 грн/т відповідно [314, 319].

Вихід валової енергії розраховано за рівнем продуктивності за 2017 – 2022 роки.

Оскільки варіанти внесення ОСВ безпосередньо впливали на зміну виходу валової енергії з врожаєм верби енергетичної, регресійну модель виходу валової енергії можна описати таким рівнянням:

$$y = 19,988x + 753,47,$$

де y – вихід валової енергії з врожаєм верби енергетичної, ГДж/га;

x – норми внесення ОСВ.

Множинний коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,67$, що вказує на помірний зв'язок між нормами внесення ОСВ та виходом валової енергії з врожаєм верби енергетичної другого циклу використання (рис. 8.3).

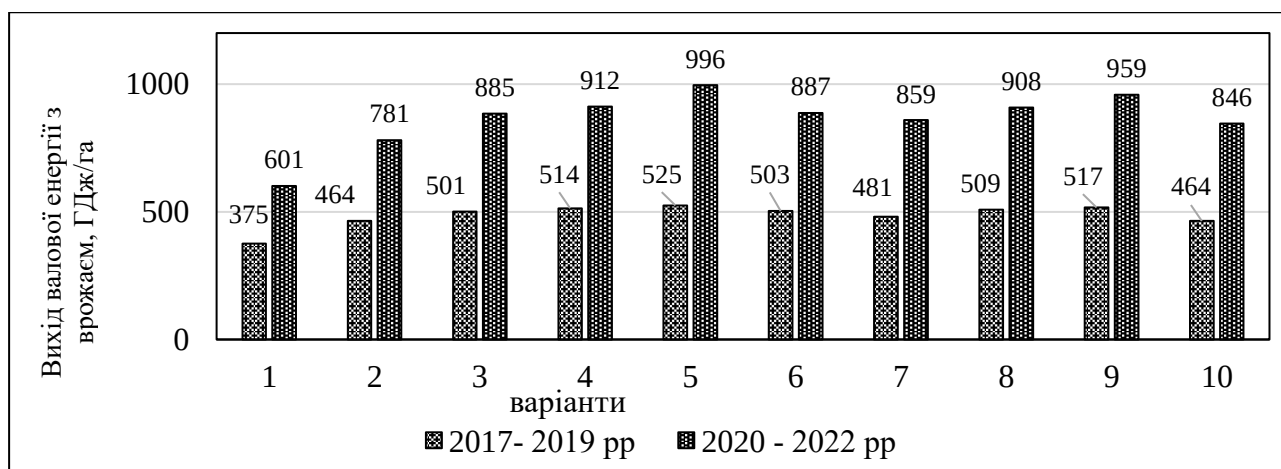


Рис. 8.3 Вихід енергії з біомасою верби енергетичної за внесення осаду стічних вод, за 2017 – 2022 роки:

1. Контроль – без добрив;	7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га;
2. Мінеральні добрива – $N_{100}P_{100}K_{100}$;	8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га;
3. ОСВ – 40 т/га;	9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га;
4. ОСВ – 60 т/га;	10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га.
5. ОСВ – 80 т/га;	
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га;	

Відповідно, з кожним роком об'єм біомаси верби енергетичної зростає і збільшувався вихід енергії з врожаєм. У 2017 році збір біомаси верби енергетичної не був високим, тому в контрольному варіанті вихід енергії становив 375 ГДж/га, а з внесення мінеральних добрив – 464 ГДж/га. Зокрема, післявнесення свіжого ОСВ (варіанти 3 – 5) вихід енергії підвищився і був

найбільшим у варіанті, де вносили ОСВ у дозі 80 т/га – 525 ГДж/га [309 - 311, 316]

Після внесення компостів (варіанти 6 – 10) вихід енергії зменшився порівняно з варіантами, де вносили свіжий ОСВ та залишився вищим порівняно з контрольним без добрив. На наступний рік зі збільшенням виходу сухої біомаси вихід енергії підвищився майже удвічі. На третій рік вихід енергії підвищився найбільше, оскільки вихід сухої біомаси значно зріс.

Після повторного внесення компостів з ОСВ вихід енергії був досить високим і, враховуючи екологічну складову, краще вносити під вербу енергетичну як добриво компости на основі ОСВ у дозі 20 – 60 т/га (табл. 8.2)

Таблиця 8.2

Вихід енергії та твердого біопалива з отриманої біомаси верби енергетичної

2-го циклу використання, середнє 2020 – 2022 рік

Варіант	Вихід сухої біомаси, т/га	Вихід твердого біопалива, т/га	Вихід валової енергії, МДж/га
1. Без добрив – контроль	34,2	37,58	601920
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	45,4	49,89	799040
3. ОСВ – 40 т/га	50,3	55,27	885280
4. ОСВ – 60 т/га	51,8	56,92	911680
5. ОСВ – 80 т/га	56,6	62,19	996160
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	50,4	55,38	887040
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	48,8	53,63	858880
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	51,6	56,71	908160
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	54,5	59,89	959200
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	48,1	52,85	846560
НІР _{0,05}	5,33	4,57	5799,044

Після повторного внесення ОСВ у дозі 40 – 80 т/га (варіанти 3 – 5) у випадку вирощування верби енергетичної вихід валової енергії становив 885280 – 996160 МДж/га. За повторного внесення компостів на основі ОСВ та тирси у дозі 60 т/га (варіант 6) вихід валової енергії становив 887040 МДж/га, що на 285120 МДж/га перевищувало контрольний (варіант 1). Після внесення компосту на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у дозі 20 – 60 т/га (варіант 7 – 9) вихід валової енергії становив 858880 – 959200 МДж/га відповідно, що на 256960 – 357280 МДж/га перевищувало контрольний варіант. Проте, за випадку внесення компосту на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 з додаванням цементного пилу дозі 40 т/га (варіант 10) вихід валової енергії становив 846560 МДж/га, що на 244640 МДж/га перевищувало контрольний варіант

Проте, за внесення компосту на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 з додаванням цементного пилу нормі 40 т/га (варіант 10) вихід валової енергії становив 846560 МДж/га, що на 244640 МДж/га перевищувало контрольний (рис.8.4) [303, 310, 316]



Рис. 8.4. Калориметр ІКА С 1, робота зі зразками енергетичних культур

Після внесення ОСВ вихід твердого біопалива підвищувався порівняно з контрольним, проте за внесення компостів на основі ОСВ та соломи вихід твердого біопалива залишався в межах 53,63 – 59,89 т/га.

Критерій Шапіро-Вілکا рівний 0,98. Згідно отриманих результатів із імовірністю 98 відсотків, розподіл є нормальним.

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме, 0,93) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова - Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.8.5).

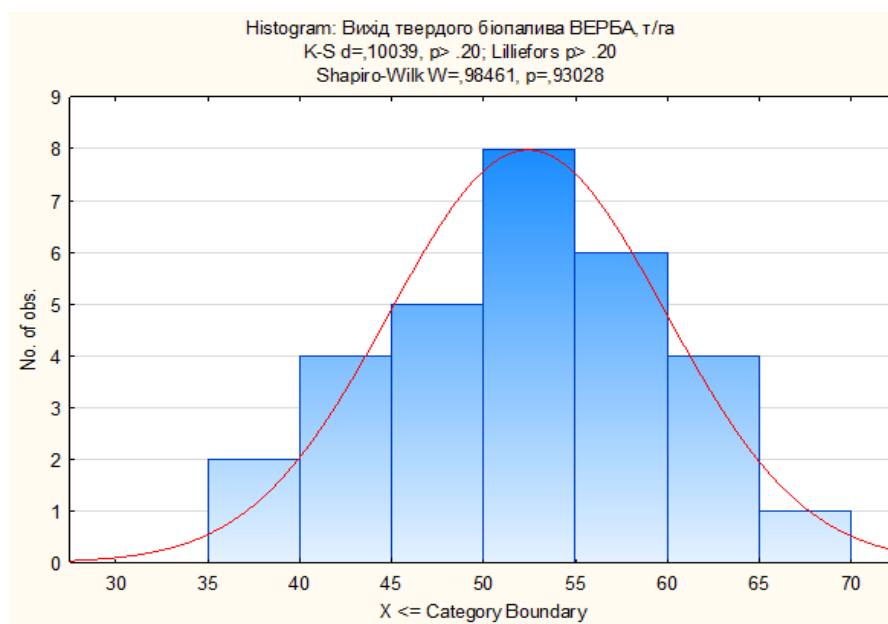


Рис. 8.5. Нормальний розподіл даних вихід твердого біопалива для випадку вирощування верби енергетичної

Собівартість отриманої енергії є досить невисокою. В наших дослідженнях вартість одиниці енергії верби енергетичної становила 0,007 – 0,012 грн/МДж і коливалася за варіантами внесення добрив. За повторного внесення ОСВ у дозі 40 – 80 т/га вартість одиниці енергії становила 0,011 – 0,012 грн/МДж; для компостів на основі ОСВ та соломи (3 : 1) у дозі 20 – 40 т/га – 0,011 грн/МДж. Для порівняння, собівартість енергії вугілля становить 0,054 грн/МДж, а собівартість енергії природного газу – 0,097 грн/МДж [267].

За ефективністю вирощування верби енергетичної у варіантах, де вносили компост на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 20 – 60 т/га, зафіксовано найкращі результати енергетичної ефективності завдяки невисокій вартості соломи, її доступності і механізації технологічних операцій з її використання для виготовлення компостів. У цих варіантах коефіцієнти енергетичної ефективності становили 2,8 – 2,9 відповідно.

Дослідженнями встановлено високу ефективність вирощування верби енергетичної на енергетичні цілі. Слід зазначити, що розрахунки коефіцієнтів енергетичної ефективності показали тенденцію до їхнього підвищення не лише завдяки зростанню енергетичних затрат на вирощування біомаси, а й внаслідок покращання гумусового стану ґрунту, зокрема підвищення вмісту частки гумінових кислот (рис. 8.6).

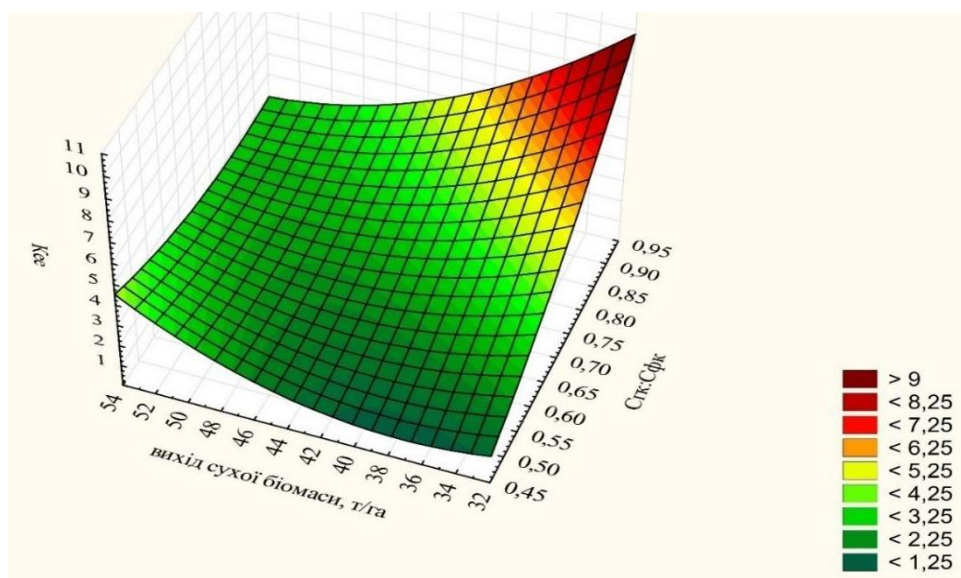


Рис. 8.6 Залежність коефіцієнта енергетичної ефективності від виходу сухої біомаси та запасів енергії в гумусі

$$Kee = 1,9919 + 31,1461x - 0,5114y + 10,8626xx - 0,9179xy + 0,0124yy,$$

де x – вихід сухої біомаси, т/га;

y – співвідношення $C_{гк} : C_{фк}$.

Множинний коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,81$, що вказує на високу тісноту зв'язку між коефіцієнтом енергетичної ефективності та виходом сухої біомаси.

Співвідношення $C_{гк} : C_{фк}$ та вихід сухої біомаси здійснює взаємний вплив на коефіцієнт енергетичної ефективності.

Розрахунки економічної та енергетичної ефективності проведено і для інших досліджуваних енергетичних культур.

Так, вихід валової енергії з біомасою сільфії пронизанолистої розраховано за рівнем продуктивності у 2022 році. Оскільки з кожним роком об'єм біомаси сільфії пронизанолистої зростає, то вихід енергії з врожаєм також збільшувався. У 2022 році збір біомаси був високим, тому у контрольному варіанті 1 без добрив вихід енергії становив 187 ГДж/га, а з внесенням мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га (варіанти 2, 3) вихід енергії становив – 259 – 318 ГДж/га відповідно. Зокрема, після внесення свіжого ОСВ сумісно із мінеральними добривами (варіанти 4 – 6) вихід енергії підвищився і був найбільшим у варіанті, де вносили ОСВ у дозі 40 т/га та мінеральних добрив $N_{10} P_{14} K_{58}$ (варіант 6) – 386 ГДж/га (рис. 8.7) [302, 310, 311]

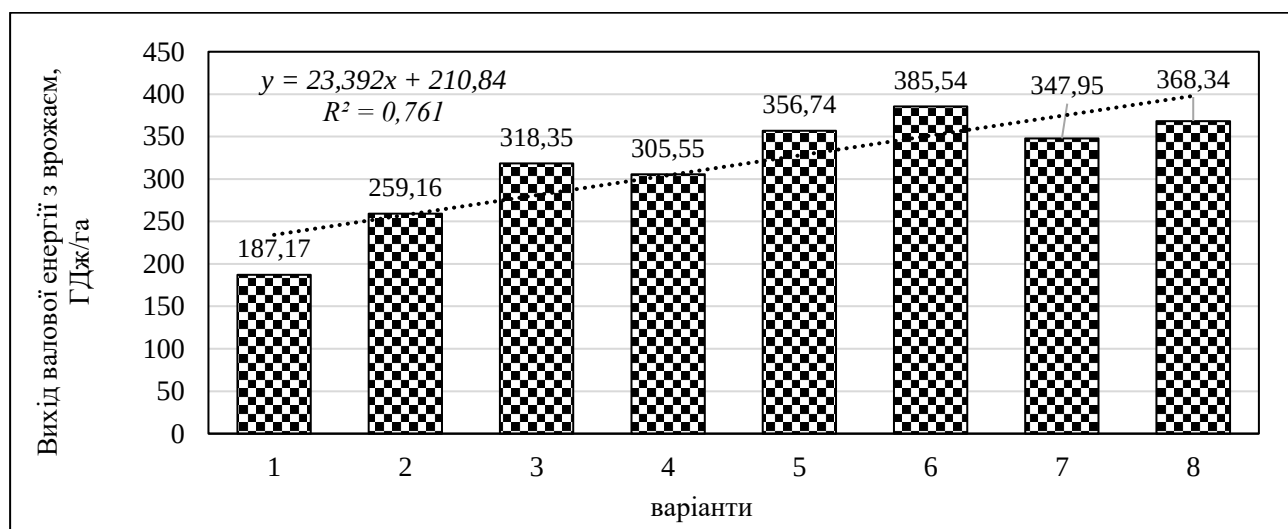


Рис. 8.7. Вихід енергії з біомасою сільфії пронизанолистої, під впливом внесення осаду стічних вод, за 2022 рік:

1. Контроль – без добрив;
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$;

3. $N_{90}P_{90}K_{90}$;
4. ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$;

5. ОСВ -30 т/га + N₃₀P₃₃K₆₆;
 6. ОСВ – 40 т/га + N₁₀ P₁₄ K₅₈;
 7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20
 т/га + N₅₀P₁₆ K₆₇;

8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30
 т/га + N₃₀ K₅₅

У разі внесення компостів вихід енергії зменшився порівняно з варіантами, де вносили свіжий ОСВ, але залишився вищим порівняно з контрольним без добрив.

Зокрема, у разі внесення компостів на основі ОСВ та соломи із додаванням мінеральних добрив N₅₀P₁₆K₆₇ у дозі 20 т/га (варіант 7) вихід енергії становив 347,95 ГДж/га, що на 160,78 ГДж/га перевищує показник контрольного варіанта

Після внесення більшої дози компостів на основі ОСВ та соломи із відповідними нормами мінеральних добрив N₃₀ K₅₅ у дозі 30 т/га (варіант 8) вихід енергії становив 368,34 ГДж/га, що на 181,17 ГДж/га перевищує варіант 1, проте залишається меншим за варіант 6, де вносили ОСВ у нормі 30 т/га з мінеральними добавками на 17,2 ГДж/га. Отже, найменший вихід енергії сільфії пронизанолистої – отримали у контрольному варіанті 1 та у варіанті 2, де вносили мінеральні добрива у дозі 60 т/га (варіант 2).

Оскільки дози внесення ОСВ безпосередньо впливали на зміну виходу валової енергії з врожаєм сільфії пронизанолистої, регресійну модель виходу валової енергії можна описати за рівнянням:

$$y = 23,392x + 210,84,$$

де y – вихід валової енергії з врожаєм, ГДж/га; x – норми внесення ОСВ.

Множинний коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,76$, що вказує на високу тісноту зв'язку між дозами внесення ОСВ та виходом валової енергії з врожаєм сільфії пронизанолистої.

Результати економічної ефективності вирощування сільфії пронизанолистої наведено в табл. 8.3.

Умовно чистий прибуток за вирощування сільфії пронизанолистої у випадку внесення ОСВ у дозі 40 т/га та мінеральних добрив N₁₀P₁₄K₅₈ становить

8053,95 грн/га та рівнем рентабельності виробництва 90,01% за одночасно низької собівартості 857,60 грн/т. Зокрема, внесення мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га умовно чистий прибуток становить 5413,86 – 6650,35 грн/га. Внесення компосту на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у дозі 20 – 30 т/га, умовно чистий прибуток рівний 6850,87 – 7485,83 грн/т [310, 319]

Таблиця 8.3

**Економічна ефективність вирощування сільфії проницзанолистої,
2016-2022 роки**

Варіанти дослідів	Виробничі затрати на 1 га	Вартість 1 т біомаси	Вартість валової продукції на 1	Умовно чистий прибуток	Собівартість 1 т біомаси	Рівень рентабельності виробництва, %
	грн					
Без добрив - контроль	6619,99	650	10530	3910,01	416,34	43,49
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	9166,14	650	14580	5413,86	576,48	60,22
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	11259,64	650	17910	6650,35	708,14	73,97
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	10806,99	650	17190	6383,03	679,67	70,99
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	12617,59	650	20070	7452,41	793,54	82,89
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	13636,05	650	21690	8053,95	857,60	90,01
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	11599,13	650	18450	6850,87	729,50	76,20
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	12674,17	650	20160	7485,83	797,10	83,27

Відповідно з кожним роком збір біомаси міскантуса також зростав і збільшувався вихід енергії з врожаєм. У 2022 році збір біомаси був високим, тому в контрольному варіанті без добрив вихід енергії становив 367,6 ГДж/га, після внесення мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га вихід енергії становив – 454,3 – 496,65 ГДж/га відповідно. Зокрема, за внесення свіжого ОСВ сумісно із мінеральними добривами вихід енергії підвищився і був найбільшим у варіанті,

де вносили ОСВ у дозі 40 т/га та мінеральних добрив $N_{10} P_{14} K_{58} - 573,65$ ГДж/га (рис. 8.8).

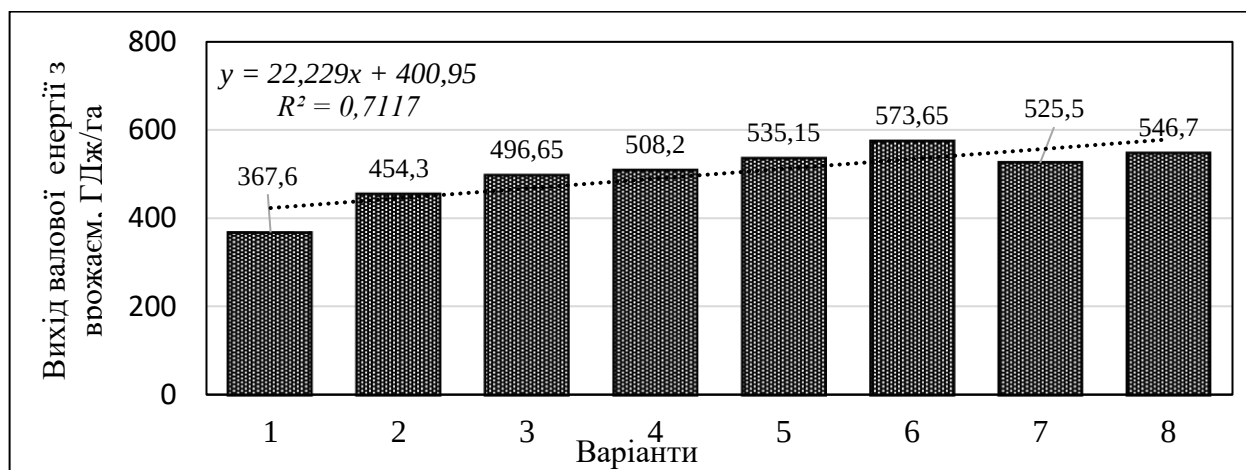


Рис. 8.8 Вихід енергії з біомасою міскантуса гігантського під впливом внесення осаду стічних вод, за 2022 рік:

1. Контроль – без добрив;	6. ОСВ – 40 т/га + $N_{10} P_{14} K_{58}$;
2. $N_{60} P_{60} K_{60}$;	7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20
3. $N_{90} P_{90} K_{90}$;	т/га + $N_{50} P_{16} K_{67}$;
4. ОСВ – 20 т/га + $N_{50} P_{52} K_{74}$;	8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30
5. ОСВ -30 т/га + $N_{30} P_{33} K_{66}$;	т/га + $N_{30} K_{55}$

У випадку внесення компостів вихід енергії зменшився порівняно з варіантами, де вносили свіжий ОСВ, але залишився вищим порівняно з контрольним без добрив. Отже, найменший вихід енергії міскантуса найменший отримали на контролі без добрив.

Критерій Шапіро-Вілکا рівний 0,97. Згідно отриманих результатів із імовірністю 97 відсотків, розподіл є нормальним.

При цьому p -рівень у даному аналізі більший 0,05 (а саме, 0,81) тому гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова - Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2 (рис.8.9).

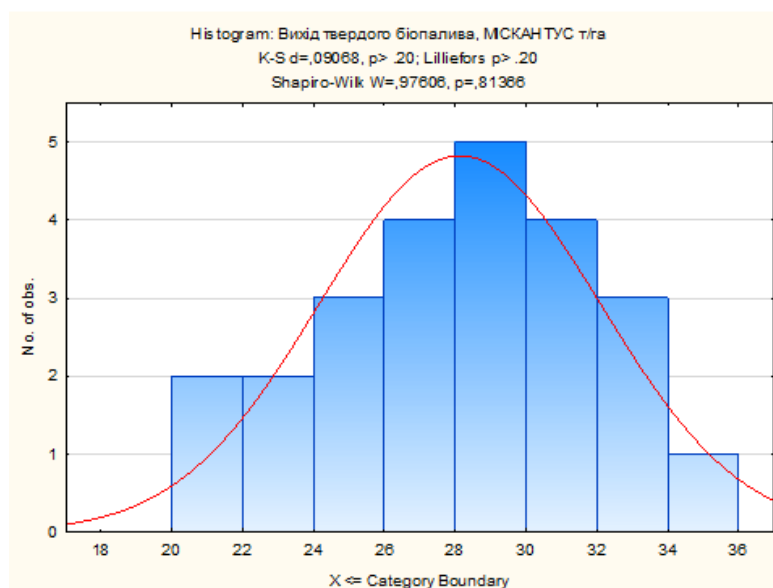


Рис. 8.9. Нормальний розподіл даних вихід твердого біопалива для випадку вирощування міскантуса

Умовно чистий прибуток за вирощування міскантуса гігантського після внесення ОСВ у дозі 40 т/га та мінеральних добрив $N_{10}P_{14}K_{58}$ становив 3805,39грн/га; рівень рентабельності виробництва – 58% за одночасно низької собівартості 529,13 грн/т (табл.8.4).

Таблиця 8.4

Економічна ефективність вирощування міскантуса гігантського, станом на 2016-2022 роки

Варіанти дослідів	Виробничі затрати на 1 га	Вартість 1 т біомаси	Вартість валової продукції на 1 га	Умовно чистий прибуток	Собівартість 1 т біомаси	Рівень рентабельності виробництва, %
	грн					
1	2	3	4	5	6	7
Без добрив - контроль	6072,64	1000	9000	2927,37	410,27	34,43
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	6315,55	1000	9360	3044,47	426,69	37,81
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	6679,90	1000	9900	3220,11	451,30	39,87
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	6436,99	1000	9540	3103,10	434,89	37,50
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	7104,98	1000	10530	3425,02	507,45	44,29

1	2	3	4	5	6	7
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	7408,61	1000	10980	3805,39	529,13	58,02
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	7772,98	1000	11520	3747,03	555,13	52,04
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	7894,43	1000	11700	3725,58	564,83	49,97
НІР _{0,05}	1,9250	1,925	1,925	1,9250	1,9250	0,3850

Зокрема, внесення мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га умовно чистий прибуток становить 3044,47 – 3220,11 грн/га. У разі внесення компосту на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у дозі 20 – 30 т/га умовно чистий прибуток рівний 3103,10– 3805,39 грн/т, що перевищує контроль на 175,73 – 878,02 грн/т.

Оскільки варіанти внесення ОСВ безпосередньо впливали на зміну виходу валової енергії з врожаєм міскантуса гігантського, регресійну модель виходу валової енергії можна описати таким рівнянням:

$$y = 22,229x + 400,95,$$

де y – вихід валової енергії з врожаєм, ГДж/га; x – норми внесення ОСВ.

Множинний коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,7117$, що вказує на тісний зв'язок, між нормами внесення ОСВ та виходом валової енергії з врожаєм міскантуса гігантського.

Таблиця 8.5

**Вихід енергії та твердого біопалива з отриманої біомаси міскантуса
гігантського, середнє значення за 2020 – 2022 роки**

Варіант	Вихід сухої біомаси, т/га	Вихід твердого біопалива, т/га	Вихід валової енергії, ГДж/га
1	2	3	4
Без добрив - контроль	19,1	21,01	367,67
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	23,6	25,96	454,34
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	25,8	28,38	496,65
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	26,4	29,04	508,24

1	2	3	4
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	27,8	30,58	535,15
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	29,8	32,78	573,65
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	27,3	30,03	525,525
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	28,4	31,24	546,76
НІР _{0,05}	1,33	3,66	13,68

Відповідно з кожним роком збір біомаси свічграсу зростав і збільшувався вихід енергії з врожаєм. У 2022 році в контрольному варіанті без добрив вихід енергії становив 230,656 ГДж/га, а з внесенням мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га вихід енергії становив – 261,274 – 277,604 ГДж/га відповідно. Зокрема у випадку внесення свіжого ОСВ сумісно із мінеральними добривами вихід енергії підвищився і був найбільшим у варіанті, де вносили ОСВ у дозі 40 т/га та мінеральних добрив N₁₀ P₁₄ K₅₈ – 385,778 ГДж/га, що на 155,122 ГДж/га перевищує контроль (рис.8.10).

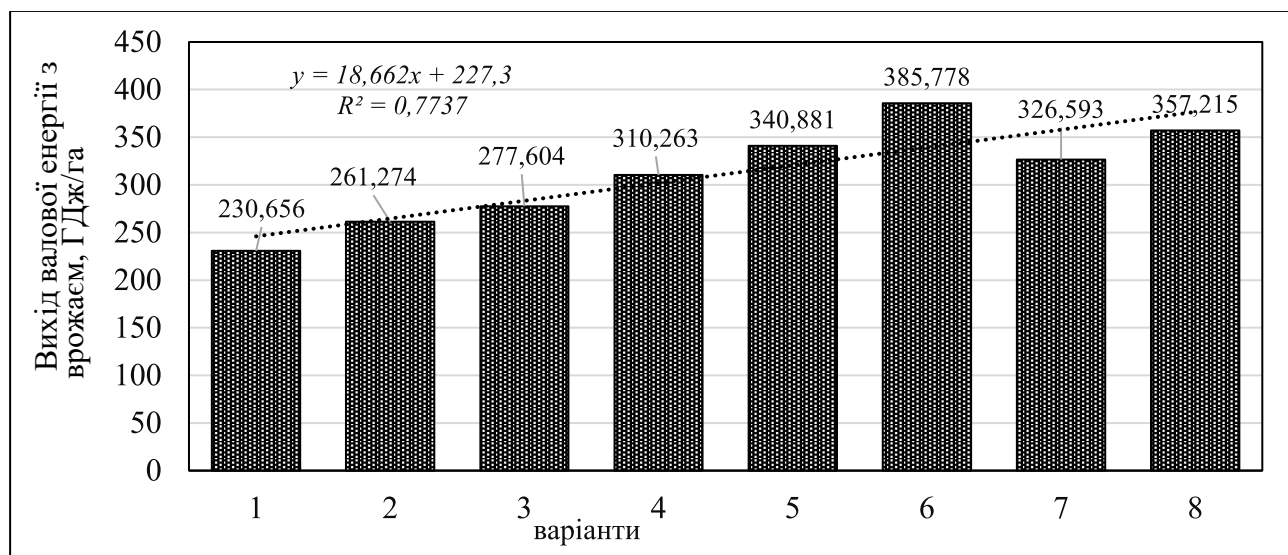


Рис. 8.10. Вихід енергії з біомасою свічграсу, під впливом внесення осаду стічних вод, за 2022 рік:

1. Контроль – без добрив;
2. N₆₀P₆₀K₆₀;
3. N₉₀P₉₀K₉₀;

4. ОСВ – 20 т/га + N₅₀ P₅₂ K₇₄;
5. ОСВ -30 т/га + N₃₀P₃₃K₆₆;
6. ОСВ – 40 т/га + N₁₀ P₁₄ K₅₈;

7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N₅₀P₁₆ K₆₇;

8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N₃₀ K₅₅

Зокрема, за внесення компостів на основі ОСВ та соломи у дозі 20 – 30 т/га сумісно із мінеральними добривами вихід енергії становив – 326, 593 – 357,215 ГДж/га, що на 95,94 – 126,56 ГДж/га перевищує контрольний варіант.

Оскільки варіанти внесення ОСВ безпосередньо впливали на зміну виходу валової енергії з врожаєм світчграсу, регресійну модель виходу валової енергії можна описати за таким рівнянням:

$$y = 18,662x + 227,3,$$

де y – це вихід валової енергії з врожаєм, ГДж/га; x – норми внесення ОСВ.

Множинний коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,77$, що вказує на тісний зв'язок, між нормами внесення ОСВ та виходом валової енергії з врожаєм світчграсу.

Вихід твердого біопалива змінювався відповідно до варіантів дослідження. Зокрема, вихід твердого біопалива з отриманої біомаси світчграсу на контрольному варіанті становив 13,53 т/га, а з внесення мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га (варіанти 2 – 3) вихід твердого біопалива – 15,33 – 16,29 т/га, що на 1,8 – 2,76 т/га перевищує контрольний варіант (табл. 8.6).

Таблиця 8.6

Вихід енергії та твердого біопалива з отриманої біомаси світчграсу, середнє значення за 2020 – 2022 роки

Варіант	Вихід сухої біомаси, т/га	Вихід твердого біопалива, т/га	Вихід валової енергії, ГДж/га
1	2	3	4
Без добрив - контроль	11,3	13,53	230,65
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,8	15,33187	261,2747
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	13,6	16,29011	277,6044
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	15,2	18,20659	310,2637

1	2	3	4
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	16,7	20,0033	340,8819
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	18,9	22,63846	385,7885
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	16	19,16484	326,5934
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	17,5	20,96154	357,2115
НІР _{0,05}	0,66	1,92	11,92

Вихід твердого біопалива з отриманої біомаси світчграсу з внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га (варіанти 4 – 6) становив 18,21 – 22,64 т/га, що на 4,68 – 9,11 т/га перевищує показник контрольного варіанта, проте з внесення компостів на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 та з мінеральними добривами у дозі 20 – 30 т/га (варіанти 7 – 8) становить 19,16 та 20,96 т/га.

Критерій Шапіро-Вілکا рівний 0,97. Згідно отриманих результатів із імовірністю 97%, розподіл являється нормальним (рис.8.10).

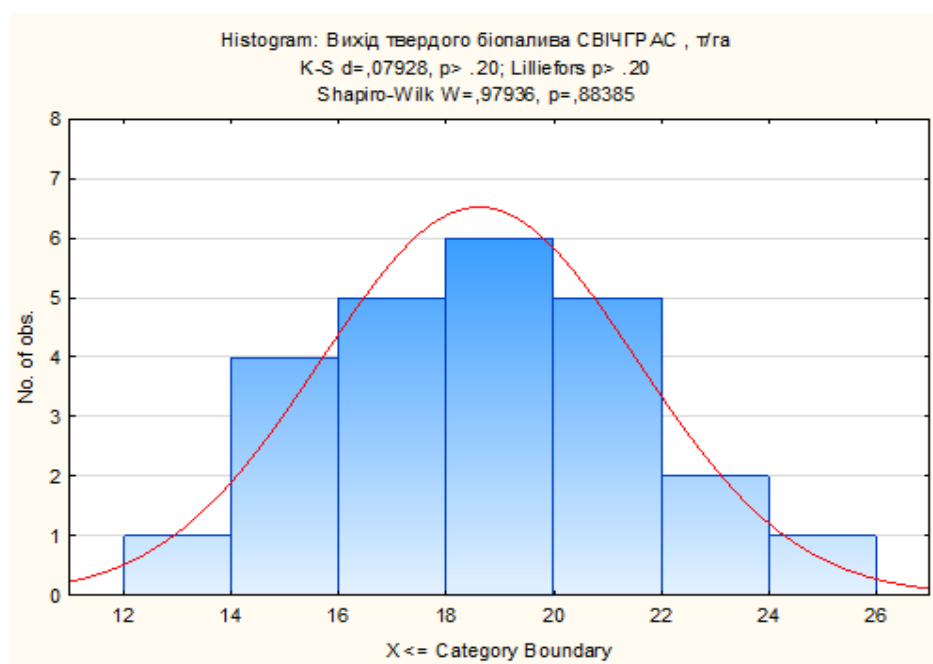


Рис. 8.10. Нормальний розподіл даних вихід твердого біопалива у випадку вирощування світчграсу

При цьому p -рівень у даному аналізі більший за 0,05 – (а саме, 0,88) – нульова гіпотеза про відсутність нормального розподілу даних може бути відкинута. Уточнюючий (контрольний) критерій Колмогорова - Смірнова підтверджує припущення про нормальність розподілу – p -рівень даного критерію більший за 0,2.

Умовно чистий прибуток за вирощування світчграса підвищується відповідно до рівня рентабельності виробництва, зокрема за внесення ОСВ у дозі 20 – 40 т/га та мінеральних добрив рівень рентабельності становить в межах 26,45 – 32,93%, що на 5,28 – 11,76 % перевищує контроль. За внесення компостів на основі ОСВ та соломи у дозах 20 – 30 т/га рівень рентабельності становить в межах 37,43 – 46,51%, що на 10,98– 20,06 % перевищує контроль. (табл.8.7)

Таблиця 8.7

Економічна ефективність вирощування світчграсу, 2020 – 2022 роки

Варіанти дослідів	Виробничі затрати на 1 га	Вартість 1 т біомаси	Вартість валової продукції на 1 га	Умовно чистий прибуток	Собівартість 1 т біомаси	Рівень рентабельності виробництва, %
	грн					
Без добрив - контроль	4831,10	1000	6391,97	1560,29	446,01	21,17
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5103,88	1000	6752,08	1648,20	470,91	23,36
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	5239,98	1000	6932,13	1692,15	483,47	24,97
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	5580,24	1000	7382,28	1802,03	514,87	26,45
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	5784,40	1000	7652,35	1967,96	533,70	28,61
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	6056,60	1000	8012,47	2221,79	558,82	32,93
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	6260,76	1000	8282,55	1955,86	577,18	37,43
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	6532,01	1000	8642,66	1909,70	602,27	46,51

Умовно чистий прибуток у випадку вирощування світчграсу на контролі рівний 1560,29 грн/га, за внесення мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га умовно чистий прибуток коливався в межах 1648,20 – 1692,15 грн/га, проте за внесення ОСВ разом з мінеральними добривами у дозі 20 – 40 т/га умовно чистий прибуток становить 1802,03 – 2221,79 грн/га, що на 241,74 – 661,5 грн/га перевищує контроль (варіант 1).

Біоенергетичну ефективність системи удобрення топінамбура визначали за допомогою показника виходу сухої речовини топінамбура, слід звернути увагу, що найвищий вихід сухої речовини забезпечує одночасне внесення ОСВ та мінеральних добрив $N_{10}P_{14}K_{58}$ у дозі 40 т/га і становить 32,9 т/га, що на 13, 5 т/га перевищує за контрольний (табл. 8.8) [302]

Таблиця 8.8

Економічна ефективність вирощування топінамбура, 2016-2022 роки

Варіанти	Збір сухої речовини, т/га	приріст т/га	Вихід валової енергії,	Коефіцієнт енергетичної ефективності (Kee)
Без добрив - контроль	19,40	-	335,86	1,57
$N_{60}P_{60}K_{60}$	21,30	1,90	370,50	1,73
$N_{90}P_{90}K_{90}$	24,90	5,50	431,07	2,01
ОСВ – 20 т/га + $N_{50}P_{52}K_{74}$	25,80	6,40	446,65	2,09
ОСВ – 30 т/га + $N_{30}P_{33}K_{66}$	27,10	7,70	469,16	2,20
ОСВ – 40 т/га + $N_{10}P_{14}K_{58}$	32,90	13,50	569,57	2,66
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + $N_{50}P_{16}K_{67}$	29,60	10,20	512,44	2,40
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$	31,30	11,90	541,87	2,53
$HP_{0,05}$	0,61	0,35	0,25	0,36

Вихід сухої речовини топінамбура у контрольному варіанті становив 19,40 т/га, проте у варіантах із внесенням мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га вміст

сухої речовини підвищився на 1,90 – 5,5 т/га відповідно. У варіантах із внесенням свіжого ОСВ та мінеральних добрив у дозі 20 – 40 т/га вміст сухої речовини топінамбура становив 25,80 – 32,90 т/га, що перевищувало контрольний варіант на 6,40 – 13,50 т/га відповідно. У випадку внесення компостів на основі ОСВ вміст сухої речовини топінамбура зріс порівняно з контрольним варіантом на 10,20 – 11,90 т/га, проте зменшився на 3,80 – 4,20 порівняно, з варіантами де вносили свіжий ОСВ у дозі 20 – 30 т/га і становив 29,60 та 31,30 т/га відповідно.

У 2022 році у контрольному варіанті без добрив вихід валової енергії становив близько 336 ГДж/га, а з внесенням мінеральних добрив у дозі 60 – 90 т/га– 370 – 431 ГДж/га відповідно (рис. 8.11) [302]

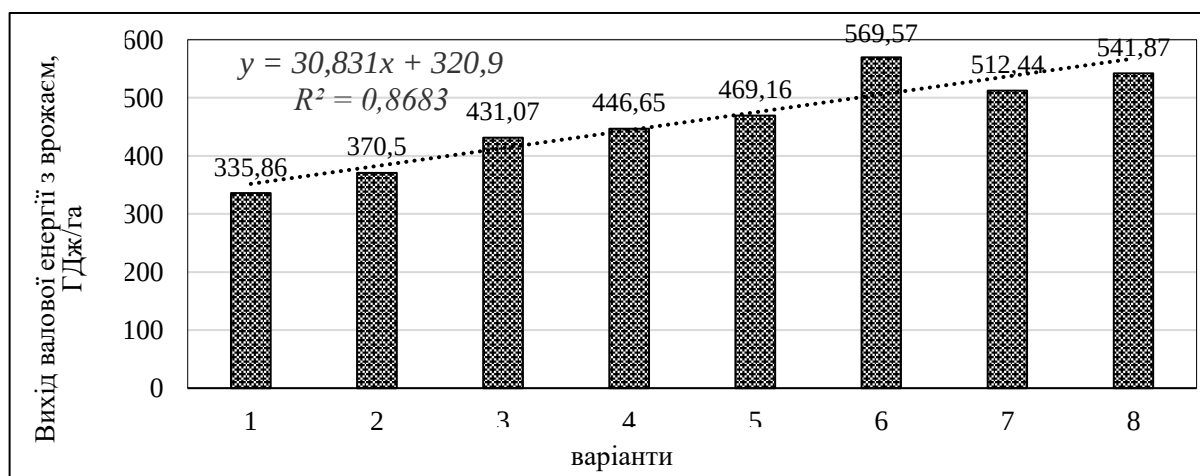


Рис. 8.11 Вихід валової енергії з біомасою топінамбура під впливом внесення ОСВ, за 2022 рік:

1. Контроль – без добрив;	6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ ;	т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄ ;	8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30
5. ОСВ -30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆ ;	т/га + N ₃₀ K ₅₅

Зокрема, за внесення свіжого ОСВ сумісно із мінеральними добривами вихід енергії підвищився і був найбільшим у варіанті, де вносили ОСВ у дозі 40 т/га та мінеральних добрив N₁₀ P₁₄ K₅₈ – 570 ГДж/га (рис. 8.12)

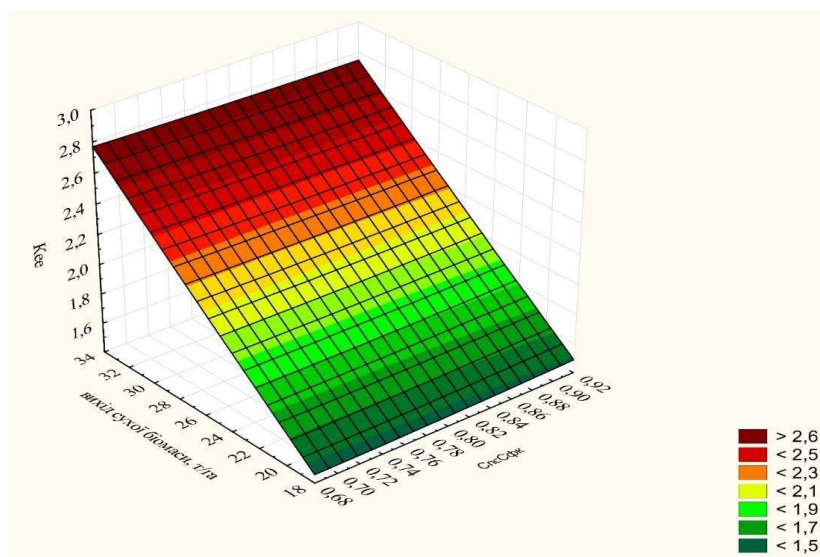


Рис. 8.12. Залежність коефіцієнта енергетичної ефективності від виходу сухої біомаси топінамбура та запасів енергії в гумусі

Проте, після внесення компостів на основі ОСВ та соломи у співвідношенні 3:1 у дозі 20 – 30 т/га вміст валової енергії становив в межах 512 – 542 ГДж/га, що на 206 ГДж/га перевищує контрольний варіант (варіант 1).

Оскільки варіанти внесення ОСВ безпосередньо впливало на зміну виходу валової енергії з топінамбура, регресійну модель виходу валової енергії можна описати за таким рівнянням:

$$y = 30,831x + 320,9,$$

де y – це вихід валової енергії з врожаєм, ГДж/га; x – норми внесення ОСВ.

Множинний коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,87$, що вказує на високий зв'язок, між нормами внесення ОСВ та виходом валової енергії з врожаєм топінамбура.

Висновки до розділу 8

Отже, із проведених економічних розрахунків та оцінки енергетичної ефективності вирощування фітоенергетичних культур можна зробити такі висновки:

– економічно вигідно вирощувати фітоенергетичні культури з умовами внесення компостів на основі ОСВ та мінеральних добрив $N_{10}P_{14}K_{58}$ у нормі 40 т/га;

– вихід валової енергії з одиниці площі за вирощування верби енергетичної досить високий після повторного внесення свіжого ОСВ, але, зважаючи на екологічну небезпеку підвищення вмісту важких металів у ґрунті понад критичні показники ГДК між доцільно застосовувати повторно компости на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 20 – 40 т/га;

– вихід валової енергії з одиниці площі за вирощування сільфії пронизанолистої, міскантуса та світчграсу є високим після внесення свіжого ОСВ у дозі 40 т/га та компосту на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 30 т/га;

– вирощування фітоенергетичних культур за внесення ОСВ у дозі 40 т/га, а також компосту на основі ОСВ і соломи (3:1) у дозі 30 т/га забезпечило найкращі показники, коефіцієнта енергетичної ефективності на рівні 2,5 – 2,7 для топінамбура;

– за енергетичною ефективністю верба енергетична 2-го циклу використання забезпечила найкращі показники, коефіцієнта енергетичної ефективності на рівні 2,8 – 2,9.

Основні наукові результати розділу опубліковані авторкою у працях [99 – 105, 309 – 312].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення важливої наукової проблеми, яка полягає в розробці екологічно безпечних способів використання ОСВ комунального господарства в аграрному виробництві, зокрема, вирощуванні енергетичних культур на низькопродуктивних дерново-підзолистих ґрунтах, а також техногенно уражених територіях (зокрема, нафтопродуктами) для формування стійких агроєкосистем виробництва біомаси як сировини для відновлюваної енергетики з метою секвестрування вуглецю в ґрунтовому покриві та рослинних об'єктах і від'ємного балансу викидів парникових газів.

1. Осад стічних вод комунального господарства відзначається порівняно високим умістом поживних речовин, зокрема макроелементів і азоту – 0,66%, фосфору – 2,51%, калію – 2,16%, та одночасно характеризується підвищеним умістом важких металів, зокрема рухомих форм кадмію, міді та цинку, які перевищували ГДК в межах 14% (у відносних відсотках). Однак, завдяки компостуванню ОСВ з іншими органічними матеріалами (солома зернових культур, тирса деревних хвойних порід) вміст поллютантів в органічній масі значно зменшується до 13,8 мг/кг – кобальту; 33,5 мг/кг – нікелю; 1,5 мг/кг – кадмію; 13,1 мг/кг – свинцю, що дає змогу використовувати їх як добрива під нехарчові рослини.

2. Внесення осаду стічних вод та компостів на його основі істотно впливає на агроєкологічний стан дерново-підзолистого ґрунту, що проявляється у покращенні кислотно-основних властивостей ґрунту, зокрема, зниженні вмісту обмінного водню і показника гідролітичної кислотності 2,88 – 2,90 ммоль/100 г ґрунту в орному (0 – 20 см) і підорному (20 – 40) шарах ґрунту, підвищенні вмісту обмінних катіонів кальцію з 2,50 до 5,54 ммоль/100 г ґрунту та магнію з 0,26 до 0,41 ммоль/100 г ґрунту, зростанні співвідношення між кальцієм та магнієм з 9,61 до 13,51; підвищенні вмісту гумусу у ґрунті з 1,27% у контрольному варіанті до

1,37 – 1,43% у варіантах з найвищими дозами внесення ОСВ (підвищення дози ОСВ зумовлює збільшення частки пасивного гумусу, яка зростає з 1,4% у контрольному варіанті до 1,19 – 14,21% у варіанті, де вносили найвищі в досліді дози осаду стічних вод; зростанні частки гумінових кислот в гумусі гуматно-фульватного типу до 0,28 – 0,36% з одночасним зменшенням частки фульвокислот, підвищенні співвідношення Сгк: СФК з 0,7 до 0,9%.

3. Внесення ОСВ сприяє підвищенню азотного фонду дерново-підзолистого ґрунту, зокрема зумовлює підвищення вмісту різних фракцій азоту, а саме: амонійного – з 16 до 20 – 22 мг/кг ґрунту у верхньому шарі (0 – 20 см) ґрунту, нітратних сполук азоту в шарі 0 – 40 см з 1,70 до 2,52 – 2,64 мг/кг ґрунту. Ця тенденція позитивно позначається на зростанні вмісту азоту лужногідролізованих сполук – від 36,0 до 43,0 – 44,4 мг/кг ґрунту. Відношення вмісту лужногідролізованих сполук азоту до вмісту азоту мінеральних сполук в умовах досліді змінюється несуттєво, що опосередковано свідчить про відносно стабільний показник азотного статусу ґрунту, який незначно змінюється під впливом застосування ОСВ.

4. Застосування ОСВ суттєво впливає на зміну вмісту в ґрунті рухомих сполук фосфору та обмінних сполук калію. Найвищий уміст рухомих сполук фосфору 186,5 мг/кг ґрунту у верхньому (0 – 20 см) шарі відзначали після внесення 40 – 60 т/га ОСВ з відповідною кількістю мінеральних добрив, що на 70 – 85 мг/кг ґрунту перевищувало показники контрольного варіанта. Вміст обмінних сполук калію також зростав у значних межах: з 36,5 мг/кг – у контрольному до 110 – 120 мг/кг ґрунту у варіантах з найвищою дозою внесення ОСВ. До глибини 40 см вміст цих макроелементів суттєво зростає за умови внесення добрив з ОСВ. Проте з глибини 60 см їх вміст різко зменшується і наближається до початкових значень контрольного варіанта. Для калію різке падіння вмісту його рухомих сполук відбувається з глибини 40 см, хоча у верхніх шарах ґрунту (0 – 40 см) цей показник перевищує показник контрольного варіанта у 2,0 – 2,3 рази.

5. Повторне внесення ОСВ під час чергового циклу використання плантації верби енергетичної сприяє активізації біологічної активності дерново-підзолистого ґрунту. Найбільший позитивний вплив на біологічну активність ґрунту (71% розкладання лляного полотна за три місяці вегетації верби) забезпечила доза 60 т/га компостів на основі ОСВ і соломи, а найвищим ступенем розкладання лляної тканини відзначається верхній (0 – 20 см) шар ґрунту у всіх варіантах дослідів. Повторне внесення мінеральних добрив за вирощування верби енергетичної істотно не впливає на показники біологічної активності ґрунту.

6. Внесення ОСВ під енергетичні культури (світчграс, міскантус, сільфію пронизанолисту та топінамбур) зумовлює активізацію біологічної активності дерново-підзолистого ґрунту. Найбільший позитивний вплив на біологічну активність ґрунту (60 – 64% розкладання лляного полотна за три місяці вегетації) забезпечує внесення ОСВ та мінеральних добрив у дозі 40 т/га, а найвищим ступенем розкладання лляної тканини відзначався верхній (0 – 20 см) шар ґрунту. Внесення мінеральних добрив істотно не впливає на показники біологічної активності ґрунту. З підвищенням біопродуктивності дерново-підзолистих ґрунтів через внесення ОСВ як цінного органічного матеріалу фітотоксичність ґрунтового покриву зростає до рівня «вище середнього».

7. Вміст важких металів у дерново-підзолистому ґрунті у зеленій масі та корневих системах енергетичних культур значно залежить від дози внесення ОСВ та компостів на його основі. Найвищий уміст важких металів спостерігали після внесення ОСВ у дозі 80 т/га та компосту на основі ОСВ і тирси (3 : 1) у дозі 60 т/га. Після внесення ОСВ у дозі 80 т/га уміст кадмію у зеленій масі верби енергетичної становить 1,71 мг/кг сухої речовини, нікелю – 1,57, свинцю та кобальту – 0,90 та 0,95 мг/кг відповідно. У корневих системах рослин у цьому варіанті містилося 1,84 мг/кг кадмію, 1,67 – нікелю, 0,99 – свинцю та 1,08 мг/кг – кобальту. Відповідно, найменшим умістом важких металів відзначався варіант, де вносили компост (осад стічних вод + солома (3:1) – 20 т/га. Внесення під

міскантус ОСВ у дозі 20 – 40 т/га та компостів зі соломою у співвідношенні 3 : 1 зумовлює певне підвищення у ґрунті вмісту міцнозв'язаних і рухомих форм важких металів порівняно варіантом без внесення добрив.

8. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм важких металів у підзолистому ґрунті після внесення найвищої норми ОСВ зростають у ряді: $\text{Co} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Zn} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{Cd}$, а рухомих форм у ряді: $\text{Cu} \rightarrow \text{Co} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Cd} \rightarrow \text{Zn}$. Також внесення ОСВ сприяє транслокації важких металів у кореневих системах і надземних органах міскантуса у ряді: $\text{Co} \rightarrow \text{Ni} \rightarrow \text{Pb} \rightarrow \text{Cu} \rightarrow \text{Zn} \rightarrow \text{Cd}$, викликає певне підвищення внутрішньотканинного забруднення рослин переважною більшістю важких металів, крім Cd. Однак такий вплив є несуттєвим, оскільки інтегральний показник забруднення ґрунтового покриву у варіантах, де вносили різні види добрив у дозі, еквівалентній $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$, коливається в незначних межах 20 – 23, з тенденцією до підвищення у варіанті з найвищою дозою внесення 40 т/га ОСВ та компенсаційною дозою мінеральних добрив. Внесення ОСВ під інші енергетичні культури зумовлювали подібні тенденції стосовно трансформації та переміщення важких металів у системі «ґрунт — рослина».

9. Внесення ОСВ сумісно з мінеральними добривами є ефективним способом підвищення продуктивності вегетативної маси у діапазоні значень 57 – 64% усіх досліджуваних енергетичних культур. Внесення ОСВ у дозі 40 т/га і $\text{N}_{10}\text{P}_{14}\text{K}_{58}$ є порівняно недорогогартісним способом підвищення продуктивності агрофітоценозів. Вміст елементів живлення у зеленій масі верби енергетичної, сильфії пронизанолистої зростає у ряді: $\text{P} \rightarrow \text{K} \rightarrow \text{Ca} \rightarrow \text{N}$. У зеленій масі світчграсу і міскантуса накопичення елементів живлення підвищується у ряді: $\text{P} \rightarrow \text{Ca} \rightarrow \text{K} \rightarrow \text{N}$; топінамбура у ряді: $\text{P} \rightarrow \text{Ca} \rightarrow \text{N} \rightarrow \text{K}$. Найвищий вміст нітрогену у зеленій масі верби енергетичної спостерігали у варіанті після внесення у ґрунт компосту на основі ОСВ і соломи (3:1) у нормі 60 т/га, а у випадку внесення свіжого ОСВ відповідно у дозі 40 – 60 т/га вміст нітрогену варіює в діапазоні значень 1,92 – 1,95% відповідно. Найвищий вміст нітрогену, калію і кальцію у

зеленій масі топінамбура є у варіанті внесення компосту на основі ОСВ у нормі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$. Найменший вміст елементів у зеленій масі верби відзначали у контрольному варіанті.

10. На нафтозабруднених ґрунтах Передкарпаття за внесення різних доз ОСВ вміст плумбуму у вегетативній масі міскантуса зростає після внесення ОСВ 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$ і становить 4,30 мг/кг ґрунту. Однак така доза внесення ОСВ зумовлює нагромадження у фітомасі світчграсу на рівні 3,97 мг/кг ґрунту.

11. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм плумбуму коливаються в межах 1,01 – 1,09 у рослинах міскантуса. Коефіцієнт концентрації міцнозв'язаних форм кадмію змінюється в межах 1,09 – 1,56, максимальним залишається у варіантах внесення ОСВ у дозі 40 т/га і $N_{10}P_{14}K_{58}$. Коефіцієнти концентрації міцнозв'язаних форм плумбуму у випадку вирощування світчграсу 20 – 40 т/га (варіант 4 – 6) рівні 1,02 – 1,15. Коефіцієнт концентрації міцнозв'язаних форм кадмію змінюється в межах 1,18 – 1,49. Залежність вмісту кадмію та плумбуму в зеленій масі від вмісту досліджуваних металів у коренях світчграсу та міскантуса та у дослідженому ґрунті вказує на високий кореляційний зв'язок між цими показниками; множинний коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,71 - 0,79$.

12. Аналіз кореляційних залежностей вмісту важких металів у системі «ґрунт – рослина» дає можливість використовувати рослини світчграсу та міскантуса як біоіндикатори забруднення довкілля нафтопродуктами. Коефіцієнти біологічного поглинання плумбуму у випадку вирощування міскантуса є меншими на 0,5 порівняно із вирощуванням світчграсу за внесення ОСВ у дозі 20 т/га і $N_{50}P_{52}K_{74}$, однак коефіцієнти біологічного накопичення плумбуму за вирощування міскантуса є вищими на 0,14. Коефіцієнт біологічного поглинання кадмію у випадку вирощування світчграсу та міскантуса становить 336,67 та 288,33 відповідно (варіант 7).

13. Кадмій та плумбум належать до 1 групи за інтенсивністю біологічного поглинання і є елементами енергійного накопичення важких

металів. Така особливість енергетичних культур (зокрема, світчграсу та міскантуса) має велике значення для відтворення екологічної стійкості ґрунтового покриву, тому їх варто застосовувати для рекультивації та ревіталізації нафтозабруднених ґрунтів.

14. Економічні розрахунки та оцінка енергетичної ефективності вирощування фітоенергетичних культур вказують на найкращий економічний ефект від внесення компостів на основі ОСВ та мінеральних добрив $N_{10}P_{14}K_{58}$.

15. Вихід валової енергії з одиниці площі верби енергетичної досить високий за повторного внесення свіжого ОСВ у дозі 40 т/га, але, з огляду на екологічну небезпеку підвищення вмісту важких металів у ґрунті понад ГДК, для цього доцільно застосовувати компости на основі ОСВ та соломи (3:1) у дозі 20 – 40 т/га. Вихід валової енергії з одиниці площі сільфії пронизанолистої, міскантуса та світчграсу є найвищим після внесення свіжого ОСВ у дозі 40 т/га та компостів на його основі з соломою (3:1) у дозі 30 т/га.

Отже, вирощування фітоенергетичних культур з початковим внесенням ОСВ у дозі 40 т/га, а також компосту на основі ОСВ і соломи (3:1) у дозі 30 т/га забезпечує найкращі коефіцієнти енергетичної ефективності: на рівні 2,5 – 2,7 для топінамбура, 2,8 – 2,9 – для верби енергетичної 2-го циклу використання та інших фітоенергетичних культур.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для покращення фізико-хімічних властивостей дерново-підзолистого ґрунту доцільно використовувати ОСВ у нормі 60 т/га та компости на основі ОСВ і тирси (3 : 1) у дозі 60 т/га.

2. Для ревіталізації нафтозабруднених ґрунтів доцільно використовувати ОСВ у дозі 40 т/га та $N_{10}P_{14}K_{58}$ (для підвищення основних агрохімічних показників, зменшення фітотоксичного ефекту, зменшення у профілі ґрунту кількості політантів) та рекомендовано вирощувати енергетичні культури для отримання біомаси: верба енергетична, міскантус.

Рекомендовано вносити компости ОСВ + солома (3 : 1)) – 30 т/га + $N_{30}K_{55}$. Для збільшення продуктивності енергетичних культур в межах 30 – 40% доцільно вносити компости на основі ОСВ та соломи (3 : 1)) у дозі 30 т/га + $N_{30}K_{55}$ та свіжий ОСВ у дозі 40 т/га для світчграсу, міскантуса, сільфії пронизанолистої та топінамбура.

Для збільшення біомаси верби енергетичної на 60% порівняно з контрольним варіантом рекомендовано вносити свіжий ОСВ та компости із соломою та тирсою у співвідношенні 3 : 1 у дозі 60 т/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Атаманюк В. М., Мосюк М. І., Ятчишин Ю. Й. Ефективність використання фільтраційного сушіння подрібненої «енергетичної» верби. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ"*. 2011. № 34. С. 11–20.
2. Балаєв А. Д., Забалуєв С. В. Дослідження процесів гумусонакопичення в різноякісних за літогенним складом технозомах в умовах Південного Степу України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Агрономія*. 2013. № 83(2). С. 206–210.
3. Балюк С. А., Ромащенко М. І. Концепція екологічного нормування допустимого антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив. Київ : Аграрна наука, 2004. 34 с.
4. Балюк С. А., Ромащенко М. І., Сташук В. А. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України. Київ : Аграрна наука, 2009. 624 с.
5. Башняк І. С., Гументик М. Я. Вирощування багаторічних злакових культур для виробництва біопалива. *Ексклюзивні технології*. 2010. № 3. С. 14–16.
6. Бацула О. О., Скрильник Є. В. Концептуальна модель механізму гумусоутворення. *Вісник ХДАУ. Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство»*. 2001. № 3. С. 45–52.
7. Безуглий М. Д., Булгаков В. М., Гринник І. В. Науково–практичні підходи до використання соломи та рослинних решток. *Вісник аграрної науки*. 2010. № 3. С. 5–9.
8. Бешлей С. В., Баранов В. І., Ващук С. П. Оцінка токсичності субстратів відвалів вугільних шахт методом біотестування. *Науковий вісник нац. лісотехнічного ун-ту України*. 2011. № 21. С. 98–102.
9. Білявський Г. О., Бутченко Л. І., Навроцький В. М. Основи екології: теорія та практика : навч. посіб. Київ : Лібраю. 2002. 352 с.

10. Біологічні ресурси і технології виробництва біопалива / Блюм Я. Б. та ін. Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. 403 с.

11. Бондар В. Економічне обґрунтування технологій вирощування і переробки рослинної біосировини на тверді види палива. *Економіка АПК*. 2015. № 3. С. 22-28.

12. Бондарева Л. І., Коноваленко О. М. Міграція та накопичення свинцю і кадмію у ґрунті і рослинах під впливом добрив. *Агроекологічний журнал*. 2012. № 3. С. 20–23.

13. Будьонний Ю. В., Шевченко М. В. Ґрунтозахисна ресурсозберігаю-ча система основного обробітку ґрунту під культури в польових сівозмінах для умов Лівобережного Лісостепу України. *Вісник Львівського ДАУ. Сер. Агрономія*. 2004. № 8. С. 67–72.

14. Булигін С. Ю. Економічне стимулювання охорони земель. *Вісник аграрної науки*. 2003. № 10. С. 59–61.

15. Валерко З. А. Вміст рухомих форм мікроелементів у ґрунтах приміської зони м. Житомир. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спец. випуск*. Харків, 2014. К. 3. С. 89–90.

16. Величко В. А., Тараріко Ю. О. Личук Г. І. Шляхи підвищення ефективності та конкурентоспроможності агроєкосистем. *Вісник аграрної науки*. 2008. № 4. С. 63–69.

17. Величко О. М., Зеркалов Д. В. Контроль забруднень довкілля. Київ : Основа, 2003. 256 с.

18. Вербовський О. В., Качан Х. П. Шляхи утилізації осадів міських стічних вод. *Україна наукова : матеріали сьомої всеукр. наук.-практ. інтернет-конф.*, 20–22 груд. 2010 р. Київ : Ін-т наук. прогнозування, 2010. Ч. 8. С. 18–20.

19. Вербовський О., Орел В., Мацієвська О., Деркач Д. Зневоднення осадів стічних вод за допомогою електричного поля. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2022. № 40. С. 16–25.

20. Веремеєнко С. І., Мовчан М. М. Методи очистки забруднених ґрунтів. *Вісник Рівненського державного технічного університету*. 2000. № 5 (7). С. 6–11.
21. Веремеєнко С. І., Олійник О. О., Сладковський Г. П. Застосування нетрадиційних заходів відновлення родючості ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 1999. № 12. С. 5–8.
22. Гаврилюк В. А., Бортнік А. М., Августинович М. Б. Ефективність використання осаду стічних вод як добрив на дерново-підзолистих ґрунтах. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 1. С. 65–70.
23. Гамаюнова В. В. Застосування добрив – основа збереження родючості ґрунтів та формування продуктивності сільськогосподарських культур в умовах зрошення. *Сучасний стан родючості ґрунтів та шляхи її збереження. Екологія*. 2008. № 68 (81). С. 35–38.
24. Гамкало З. Г. Екологічна якість ґрунту навч. посіб. Львів: центр ЛНУ ім. І. Франка, 2009. 412 с.
25. Ганженко О. М., Гументик М. Я., Квак В. М., Зиков П. Ю. Вплив глибини садіння ризомів міскантусу на їх проростання. *Біоенергетика*. 2013. № 1. С. 36–38.
26. Гвоздевич О. В., Кульчицька-Жигайло Л. З. Деякі аспекти енергетичного потенціалу каналізаційних очисних споруд Львівщини. *Ресурси природних вод Карпатського регіону: Проблеми охорони та раціонального використання* : матеріали 11-ї міжнар. наук.-практ. конф. Львів : ЛЦНП, 2012. С. 18-20.
27. Гелету́ха Г. Г., Железна Т. А. Сучасний стан та преспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Нетрадиційна енергетика*. 2010. № 3. С. 73–79.
28. Біомаса як паливна сировина / Гелету́ха Г. Г. , Жовмір М. М., Олійник Є. М., Радченко С. В. *Промислова теплотехніка*. 2011. № 33 (5). С. 76–84.
29. Гелету́ха Г. Г., Железна Т. А., Трибой О. В. Перспективи вирощування та використання енергетичних культур в Україні : аналітична записка UABIO №

10, 12 вересня 2014. 10. URL: <https://uabio.org/activity/1131/> (дата звернення: 08.11.2023)

30. Гелетука Г. Г., Железна Т. А. Біоенергетика в Україні: стан розвитку, бар'єри та шляхи їх подолання. *Біоенергетика*. 2014. № 1. С. 16–19.

31. Герасимчук Л. О. Особливості забруднення ВМ урбаноземів агролісоселітебних ландшафтів м. Житомир. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спец. випуск*. Харків, 2014. К. 3. С. 91 – 92.

32. Гетманенко В. А. Накопичення важких металів у ґрунті та рослинній продукції за умов удобрення осадом міських стічних вод. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 1. С. 75–77.

33. Гетманенко В. А. Порівняльна оцінка осаду міських стічних вод та гною, як добрива і джерела органічного вуглецю. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2013. № 79. С. 76–81.

34. Гетманенко В. А., Папірний М. А. Трансформація органічної речовини компостів у процесі біоконверсії за даними ІЧ-спектроскопії. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2015. № 83. С. 93–96.

35. Гнатишин Л., Прокопишин О., Василішин С. Облік вирощування енергетичної верби в системі управлінських інформаційних технологій виробництва енергетичних культур. *Аграрна економіка*. 2022. № 15 (1-2). С. 115–126.

36. Гончарук І. В., Яремчук Н. В. Економіко-екологічні перспективи вирощування енергетичної верби Ялтушківською дослідно-селекційною станцією ІБК і ЦБ НААН України. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2021. № 4 (58). С. 7–23. DOI: 10.37128/2411-4413-2021-4-1.

37. Гордієнко П. О., Юрко К. П. Використання осаду міських стічних вод для удобрення сільськогосподарських культур. *Агрохімія і ґрунтознавство. Урожай*. 1969. № 11. С. 35–38.
38. Горова А., Кулина С. Оцінка токсичності ґрунтів Червоноградського гірничопромислового району за допомогою ростового тесту. *Вісник Львівського національного університету ім. І. Франка. Серія біологічна*. 2008. № 48. С. 189–194.
39. Городній М. М. Проблеми використання осаду стічних вод. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 9. С. 45–50.
40. Господаренко Г. М. Система застосування добрив : навч. посіб. Київ : СІК-ГРУП Україна, 2015. 332 с.
41. Господаренко Г.М., Трус О. М. Вплив тривалого застосування добрив на показники родючості чорнозему опідзоленого на продуктивність польової сівоzmіни. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2011. № 1. С. 17–21.
42. Грицуляк Г. М. Вплив внесення удобрення на основі осаду стічних вод під топінамбур на еколого-токсичний стан дерново-підзолистого ґрунту. *Сучасний рух науки : тези доп. VIII міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 3-4 жовтня 2019 р. Т.1. Дніпро, 2019. С. 468–471.*
43. Грицуляк Г. М. Екологічний стан дерново-підзолистих ґрунтів Передкарпаття за внесення осаду стічних вод під вербу енергетичну. *Збалансоване природокористування*. 2019. № 1. С. 66–75.
44. Гродзинський А. М. Основи хімічної взаємодії рослин. Київ: Наукова думка, 1973. 204 с.
45. Гродзинський Д. М., Шиліна Ю. В., Куцоконь Н. К. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи. Київ: Фітооціоцентр, 2006. 60 с.
46. Гументик М. Я. Вирощування та використання органічної сировини для виробництва енергії. *Зб. наук. пр. Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. №14. С. 546–548.

47. Гументик М. Я. Здатність до проростання міскантусу залежно від варіацій глибини посадки ризоми. *Наук. прац. Інст. біоенергетичних культур та цукрових буряків*. 2011. № 12. С. 55–61.
48. Дегтярьов В. В. Гумус чорноземів Лісостепу і Степу України. Харків : Майдан, 2011. 360 с.
49. Демидов О. А., Греков В. О., Дацько Л. В. Родючість ґрунтів потребує охорони. *Аграрний тиждень*. 2013. № 16 (101). С. 10–11.
50. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Київ : Знання, 2002. 203 с.
51. Джура Н. М. Можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів. *Біологічні студії*. 2011. № 3. С. 183–196.
52. Джура Н. М., Терек О. І. Перспективи застосування рослинних тест-систем для екологічної оцінки нафтозабруднених ґрунтів. *Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів* : матеріали XI конф. молодих вчених. Київ, 2010. С. 50–51.
53. Дишлюк В. Є. Агроекологічний стан і рівень родючості темно-каштанового ґрунту в післядії окультурення осадами стічних вод міських очисних споруд. *Вісник ХНАУ*. 2004. № 6. С. 326–333.
54. Дишлюк В. Є. Вплив осадів стічних вод і продуктів їх переробки на мікробне угруповання та біологічну активність ризосферного ґрунту рослин кукурудзи. *Сільськогосподарська мікробіологія*. 2010. №12. С. 68–86.
55. Дмитрук Ю. М. Вплив ландшафтно-екологічних умов на профільний розподіл важких металів у ґрунтах Покутсько-Буковинських. *Агроекологічний журнал*. 2005. № 2. С. 28–37.
56. Дмитрук Ю. М., Бербець М. А. Основи біогеохімії. Чернівці : Книги – ХХІ, 2009. 288 с.

57. Довбаш Н. І. Зміна агрохімічних характеристик сірого лісового ґрунту за екзогенного надходження ВМ. *Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спец. випуск*. Харків, 2014. К. 3. С. 96 – 98.

58. Елланська Н. Е., Левчик Н. Я., Юношева О. П. Мікробні угруповання прикореневого ґрунту представників роду *Vitex L.* *Ґрунтознавство*. 2013. № 14 (22). С. 61–69.

59. Єрмаков С. В. Перспективи удосконалення конструкцій для садіння живців енергетичних культур. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2017. № 2. С. 26–30.

60. Єрмаков С. В., Гуцол Т. Д., Девін В. В. Проблеми безперервного вивантаження живців енергетичної верби з бункера. *Сучасний рух науки*. Дніпро, 2019. Т. 1. С.529–533.

61. Єрмаков С. В., Гуцол Т. Д., Михайлова Л. М. Розрахункові формули визначення швидкості вивантаження живців енергетичної верби з точки зору гідродинамічних багатофазних систем. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2021. № 34. С. 77–91.

62. Ілюстрований довідник з морфології квітникових рослин / Зиман С. М. та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2012. 176 с.

63. Зінченко В. О. Біомаса як альтернативне джерело енергії. *Екологічний вісник*. 2005. № 3. С. 24–25.

64. Зінченко В. О. Міскантус – джерело енергетичної біомаси. *Новини агротехніки*. 2008. № 3. С. 40–41.

65. Зінченко О. В. Оцінка впливу регуляторів росту рослин на інтенсивність фотосинтезу, приживаність, морфологічні показники міскантусу гугантеусу. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. № 19. С. 47–51.

66. Іваніна В. В., Шиманська Н. К., Мазур Г. М. Біологізація системи удобрення у формуванні калійного режиму чорнозему типового вилугуваного.

Агробіологія. 2013. № 10. С. 100–103. URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/agr_2013_10_26.pdf (дата звернення: 28.08.2023).

67. Кабак О. О. Економічна та еколого-енергетична оцінка виробництва та використання біоенергетичних ресурсів у сільськогосподарських підприємствах : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. екон. наук : 08.00.04. Миколаїв, 2014. 21 с.

68. Калетник Г. М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та економічна безпека України : монографія. Київ: Хай-Тек Пресс, 2010. 516 с.

69. Качан Х. П., Вербовський О. В. Підготовка осадів стічних вод до зневоднення з подальшою їх утилізацією. *Проблеми та перспективи розвитку забезпечення безпеки життєдіяльності* : зб. наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф. курсантів і студ., Львів, 2010. Львів, 2010. с. 75–76.

70. Квак В. М. Вплив маси ризомів міскантусу та густоти їх садіння на енергетичну продуктивність біомаси. *Зб. наук. праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН*. 2013. Вип. 17. № 1. С. 146–151.

71. Квак В. М. Вплив строків садіння та глибини загортання ризом міскантусу на його польову схожість. *Цукрові буряки*. 2012. №6. С. 15–17.

72. Квак В. М. Ріст, розвиток і продуктивність міскантусу за різних норм добрив. *Зб. наук. праць Ін-ту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2012. Вип. 14. С. 548–551.

73. Кирилюк В.П. Продуктивність культур сівозміни залежно від систем основного обробітку ґрунту. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства НААН»*. 2011. Вип. 1–2. С. 77–85.

74. Клос В. Р., Бірке М., Жовинський Е. Я. Регіональні геохімічні дослідження ґрунтів України в рамках міжнародного проекту з геохімічного картування сільськогосподарських та пасовищних земель Європи (GEMAS). *Пошукова та екологічна геохімія*. 2012. № 1. С. 51–66. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pteg_2012_1_9. (дата звернення: 25.09.2023)

75. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. Рівне : Рівненська друкарня, 2003. 622 с.
76. Корнєєнко С. В. Дослідження складу, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунтів : навчальний посібник. Київ, 2016. 217 с.
77. Котюк Ф. О. Розробка екологічно безпечного методу обробки осаду міських стічних вод. *Коммунальное хозяйство городов*. 2006. № 74. С. 95–99.
78. Крутякова В., Пиляк Н., Нікіпелова О. Оптимізована технологія отримання біодобрих на основі осадів стічних вод. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 100 (1). С. 50–56.
79. Кулик М. І. Довідник: ботаніко-біологічна характеристика, особливості вирощування та використання енергетичних культур. Частина перша : світчграс (просо лозоподібне). Полтава, 2014. 130 с.
80. Кулик М. І. Енергетичні культури : альбом. Полтава : «Астроя», 2017. 38 с.
81. Фітоенергетичні культури : навч. посібник / М. І. Кулик та ін. Полтава, 2017. 150 с.
82. Кунцьо І. О., Гументик Я. М. Вирощування енергетичної верби як сировини для виробництва твердих видів біопалива в умовах Лісостепу України. *Збірник наукових праць інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. № 19. С. 59–62.
83. Курило В. Л., Журба Г. І. Динаміка росту енергетичної верби в перший рік вирощування в ґрунтово-кліматичних умовах Полісся України. *Збірник наукових праць Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*. 2013. № 19. С. 74–79.
84. Ефективність вирощування високопродуктивних енергетичних культур / В. Л. Курило та ін. *Вісник Львівського національного аграрного університету*. 2011. № 15 (2). С. 85–90.
85. Курило В. Л., Роїк М. В., Ганженко О. М. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку. *Біоенергетика*. 2013. № 1. С. 5–10.

86. Методичні рекомендації з проведення передсадильного обробітку ґрунту і садіння ризомів міскантусу / В. Л. Курило та ін. Київ, 2012. 22 с.
87. Курило В. Л., Гументик М. Я., Квак В. М. *Miscanthus* – це перспективна енергетична культура для виробництва біопалива. *Агробіологія*. 2010. № 4. С. 62–66.
88. Крутякова В. І., Нікіпелова О. М., Пиляк Н. В. Застосування добрив на основі осадів стічних вод для додаткового фосфорного живлення рослин. *Землеробство, ґрунтознавство, агрохімія*. 2021. № 11 (824). С. 26–32.
89. Крутякова В., Пиляк Н., Нікіпелова О. Оптимізована технологія отримання біодобрив на основі осадів стічних вод. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 100 (1). С. 50–56.
90. Кухарець С. М., Голуб Г. А. Забезпечення енергетичної автономності агроєкосистем на основі виробництва біопалива. *Вісник Житомир. нац. агроєкол. ун-ту*. 2012. № 1 (1). С. 345–352.
91. Кюрчев В. М., Дідур В. А., Грачова Л. І. Альтернативне паливо для енергетики АПК : посібник. Київ : Аграрна освіта, 2012. 416 с.
92. Ладановська Д. О., Жукова В. С. Ефективність технології вермикомпостування осадів промислових стічних вод. *Інноваційні матеріали та технології шкіряно-хутрового виробництва* : збірник тез Міжнар. наук.-практ. семінар, м. Київ, 5 груд. 2018 р. Київ : КНУТД, 2018. С. 101–102.
93. Ліпінського В. М., Дячук В. А., Бабіченко В. М. Клімат України. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
94. Ломницька Я. Ф., Василечко В. О., Чихрій С. І. Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля. Львів: Новий Світ – 2000, 2013. 579 с.
95. Лопушняк В., Якубовський Т., Грицуляк Г. Продуктивність топінамбура залежно від норми застосування осаду стічних вод на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття. *Вісник Львівського національного аграрного університету : агрономія*. 2018. Вип. 22 (2). С. 119–123.

96. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Якубовські Т., Барчак Б., Сав'юк Р. Формування продуктивності верби енергетичної за повторного внесення осаду стічних вод на дерево-підзолистому ґрунті. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2020. Вип. 2. С. 63–70.

97. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Вплив осаду стічних вод на агрохімічні властивості та продуктивність дерново-підзолистого ґрунту. *Вісник ХНАУ*. 2020. № 1. С. 201–213.

98. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Формування продуктивності сільфії пронизанолистої (*Silphium Perfoliatum* L.) за різних норм внесення осаду стічних вод на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття. *Збалансоване природокористування*. 2020. № 3. С. 100–108.

99. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Джус Г. Біоенергетична оцінка внесення осаду стічних вод під сільфію пронизанолисту (*Silphium perfoliatum* L.) на дерново-підзолистих ґрунтах Передкарпаття. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 1. С. 126–134.

100. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Зміна основних агрохімічних показників дерново-підзолистого ґрунту за внесення осаду стічних вод під топінамбур. *Рослинництво та ґрунтознавство*. 2021. № 12 (3). С. 66–75.

101. Вміст важких металів у ґрунтах нафтозабруднених територій Передкарпаття / В. Лопушняк та ін. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2021. Вип. 2 № 93. С. 83–88.

102. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Інтенсивність засвоєння важких металів рослинами верби енергетичної на нафтозабруднених територіях. *Science, research, development : Monografia poconferencyjna*. Poland. 2020. № 26. S. 27–29.

103. Нагромадження кадмію та плюмбуму (Pb) в енергетичних культурах на нафтозабруднених деградованих ґрунтах / В. Лопушняк та ін. *Actual trends of modern scientific research : Abstracts of the 11th International scientific and practical conference*. MDPC Publishing, June 6-8, 2021, Munich, Germany. Munich, 2021. P. 14–21.

104. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Федорко Н., Караванович Х. Вплив нафтопродуктів на ґрунти Івано-Франківської області. *Methodological and attitudinal principles of classical science* : Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference, by the «InterSci», Stockholm, Sweden, 13-14.03.2023. Stockholm, 2023. P. 39-42.

105. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Фелик К. Забруднення Cd, Pb та Co підзолистих ґрунтів. *Innovative ways of learning development* : Abstracts of X International Scientific and Practical Conference, Varna, Bulgaria, 13-15.03.2023. Varna, 2023. P. 262-271.

106. Лопушняк В., **Грицуляк Г.** Міграція важких металів в системі ґрунт – рослина на нафтозабруднених територіях. 6-й Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» : збірник матеріалів. Львів : Західно-Український Консалтинг Центр (ЗУКЦ), ТзОВ, 2021. С. 73. DOI: 10.23939/book.ecocongress.2021.

107. Лопушняк В., **Грицуляк Г.**, Коцюбинський А. Вміст важких металів у енергетичних культурах за внесення осаду стічних вод на нафтозабруднених деградованих ґрунтах. *Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів* : Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 23 – 25 листопада 2021 р. К. : НУБіП України, 2021 р. С. 40–48.

108. 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.

109. Луцишин О.З., Гаськевич В.Г. Ґрунти Надсянської рівнини : монографія. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2016. 368 с.

110. Львівводоканал запозичує європейський досвід утилізації осаду стічних вод. *Львівська міська рада* : веб-сайт. URL: <https://city-adm.lviv.ua/news/city/housing-and-utilities/219228-u-lmkp-lvivvodokanal->

[zapozychuiut-ieuropeiskyi-dosvid-utyilizatsii-osadu-stichnykh-vod](#) (дата звернення: 07.11.2023.)

111. Макух Я. П., Ременюк С. О. Ефективність дії гербіцидів у посівах міскантусу першого року життя. *Карантин і захист рослин*. 2016. № 2–3. С. 24–26.

112. Марченко О.М., Пшинко Г.М., Демченко В.Я. Оцінка вмісту обмінних форм важких металів в осадах стічних вод для їх утилізації в якості органо-мінеральних добрив. *Вісник Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника. Сер. Хімія*. 2015. № 19. С. 4–8.

113. Мислива Т. М. Кадмій (Cd) у ґрунтах природних агроландшафтів Житомирського Полісся. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2014. № 3. С. 110–111.

114. Мірошниченко М. М., Фатєєв А. І. Агрогеохімія мікроелементів у ґрунтах України. *Агрохімія і ґрунтознавство* : міжвід. темат. наук. зб. сек. вип. до VIII з'їзду УТГА : Охороні ґрунтів – державну підтримку. Харків, 2010. Кн. 1. С. 98–107.

115. Надточій П. П., Вольвач Ф. В., Гермашенко В. Г. Екологія ґрунту та його забруднення. Київ : Аграрна наука, 1997. 286 с.

116. Наконечний Ю. І., Позняк С. П. Ґрунти заплави ріки Західний Буг. Львів : Вид-во Львів. ун-ту, 2011. 220 с.

117. Олійник Е., Еловикова Т. Вирощування енергетичних плантацій. *Агросектор*. 2007. № 7-8. С. 42-45.

118. Оліферчук В. П., Матвієнко М. Т. Отримання біогазу шляхом анаеробного зброджування осадів стічних вод на каналізаційних очисних спорудах. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012. Вип. 22.11. С. 114–118.
URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnlту_2012_22.11_21 (дата звернення: 07.11.2023).

119. Пазюк В. М., Токарчук О. А. Основні характеристики осадів стічних вод. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1(116). С. 96–104.

120. Стан технологій очищення стічних вод в Україні та світі / Пазюк В. М., Снежкін Ю. Ф., Петрова Ж. О., Новікова Ю. П. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2021. № 43 (1). С. 5–12.

121. Пазюк В. М., Токарчук О. А. Основні характеристики осадів стічних вод. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 96–104.

122. Писаренко П. В., Курило В. Л., Кулик М. І. Агробіомаса та фітомаса енергетичних культур для виробництва біопалива. *Розробка та вдосконалення енергетичних систем з урахуванням наявного потенціалу альтернативних джерел енергії* : кол. монографія / за ред. О. О. Горба, Т. О. Чайки, І. О. Яснолоб. Полтава : ТОВ НВП «Укрпромторгсервіс», 2017. С. 258–266.

123. Польовий В. М. Відновлення родючості агрохімічно деградаційних ґрунтів. *Вісник аграрної науки*. 2011. № 2. С. 14–17.

124. Технологія перероблення вегетативної маси рослини сільфії пронизанолистої. / Полутренко М., **Грицуляк Г.**, Коцюбинський А., Сав'юк Р. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування* : Матеріали VI міжнародного конгресу, 23–25 вересня 2020 р. Львів, 2020. С. 206. С. 27–30.

125. Спосіб перероблення наземної частини сільфії пронизанолистої: пат. 143791 Україна: МПК (2020.01) D21C 3/00. № у 2020 01650, заявл. 10.03.2020; опубл. 10.08.2020, Бюл. № 15. 2 с.

126. Спосіб фіторемедіації ґрунту, забрудненого відходами буріння та нафтопродуктами: пат. 145615 Україна: МПК B09C 1/10 (2006.01). № у 2020 04453; заявл. 16.07.2020; опубл. 28.12.2020, Бюл. № 24. 3 с.

127. Порядок повторного використання очищених стічних вод та осаду за умови дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин : затверджено наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України

12.12.2018. № 341. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0075-19>
(дата звернення: 08.11.2023).

128. Міскантус в Україні: інтродукція, біологія, біоенергетика / Рахметов Д. Б., Щербакова Т. О., Рахметов Д. Б., Рахметов С. Д. Київ : Фітосоціоцентр, 2015. 158 с.

129. Методика проведення експертизи сортів міскантусу китайського (*Miscanthus sinensis* Anderss.) на відмінність, однорідність і стабільність. Офіційний бюлетень. Державна служба з охорони прав на сорти рослин / М. В. Роїк та ін. Київ : Алефа, 2012. URL: <http://sops.gov.ua> (дата звернення: 17.06.2022) (ліквідовано: 02.2023 року)

130. Роїк М. В., Ганженко О. М., Тимощук В. Л. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні. *Біоенергетика*. 2015. № 1. С. 5–8.

131. Роїк М. В., Ягольник О. Г. Агропромислові енергетичні плантації – майбутнє України. *Біоенергетика*. 2015. № 2. С. 4–7.

132. Енергетична верба: технологія вирощування та використання : монографія / М. В. Роїк та ін. Вінниця : Нілан-ЛТД, 2015. 340 с.

133. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року / М. В. Роїк та ін. *Біоенергетика*. 2019. № 2. С. 4–9.

134. Роїк М. В., Гументик М. Я., Мамайсур В. В. Перспективи вирощування енергетичної верби для виробництва твердого біопалива. *Біоенергетика*. 2013. № 2. С. 18–19.

135. Рудницький Є. М. Дослідження доцільності використання осадів стічних вод в якості органо–мінеральних добрив в умовах України. *Вісник ХНТУГС ім. Петра Василенка*. 2013. Вип. 135. С. 78–86.

136. Самохвалова В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. № 8 (1). С. 217–236.

137. Самохвалова В. Л. Нормування вмісту мікроелементів та ВМ у ґрунтах різного генезису. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2014. № 81. С. 116–117.
138. Семенов Д. О. Використання кількісного складу органічної речовини як критерію рухомості мікроелементів у ґрунтах. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2014. № 81. С. 151–152.
139. Симочко Л. Ю., Симочко В. В., Бігарій І. Й. Спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті агробіоценозів при застосуванні різних агрозаходів. *Наук. вісник Ужгородського ун-ту. Сер. Біологія*. 2010. № 28. С. 162.
140. Симочко Л. Ю., Дем'янюк О. С. Мікробіом ґрунту культурних рослин за різних агротехнологій. *Агроекологічний журнал*. 2018. № 2. С. 87–92.
141. Сінченко В. М., Гументик М. Я., Бондар В. С. Перспективи технології виробництва біопалива. *Біоенергетика*. 2014. № 2. С. 13–14.
142. Екологічно безпечний спосіб вирощування верби енергетичної / Снітинський В. В., Лопушняк В. І., Костюк Б. А., **Грицуляк Г. М.** *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву : каталог інноваційних розробок*. Львів : ЛНАУ, 2013. Вип. 13. 4 с.
143. Скрильник Є. В., Гетманенко В. А. Динаміка органічного вуглецю ґрунтів різного гранулометричного складу після внесення осадів стічних вод. *Вісник ЛНАУ. Сер. Агрономія*. 2014. № 18. С. 53–58.
144. Скрильник Є. В. Теоретичне та технологічне обґрунтування виробництва і застосування органічних та органо–мінеральних добрив : дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.04 / НААН України, ННЦ «Ін-т ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського». Харків, 2012. 301 с.
145. Скрильник Є. В. Трансформація гумусного стану ґрунтів та їх енергоємності під впливом різних систем удобрення. *Вісник ЦНЗ АПВ*. 2010. № 7. С. 184–194.

146. Скрильник Є. В., Гетманенко В. А. Трансформація органічної речовини чорнозему опідзоленого в умовах удобрення осадами міських стічних вод. *Вісник ХНАУ : ґрунтознавство*. 2014. № 2. С. 5–10.
147. Соловей О. І., Лега Ю. Г., Розен В. П. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії : навч. посіб. Черкаси : ЧДТУ, 2007. 490 с.
148. Сорокіна К. Б., Козловська С. Б. Технологія переробки та утилізації осадів стічних вод : навч. посіб. Харків : ХНАМГ, 2012. 226 с.
149. Спосіб екологічно безпечної утилізації осаду стічних вод у насадженнях енергетичних культур / Снітинський В. В., Лопушняк В. І., Костюк, Б. А., Грицуляк Г. М. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництва : каталог інноваційних розробок*. Львів : ЛНАУ, 2012. Вип. 12. 4 с.
150. Станько Т. Економічна та енергетична ефективність біопалива на основі верби. Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій: матеріали XV Міжнар. наук.- практ. форуму, 24-26 вер. 2014 р. Львів : Львів. НАУ, 2014. С. 550-554.
151. Станько Т. М. Стимулювання вирощування екологічно ефективних енергетичних культур. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер. Економічні науки*. 2016. № 16 (4). С. 81–85.
152. Статистична інформація Державної служби статистики України. Розділ «Публікації» : веб-сайт. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (дата звернення: 08.11.2023).
153. Статистична інформація Європейського Союзу : веб-сайт. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat> (дата звернення: 12.03.2023).
154. Фітофаги міскантусу гігантського / Т. Р. Стефановська та ін. *Карантин і захист рослин*. 2011. № 5 (178). С. 5–8.
155. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрювання. [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. с 7.

156. ДСТУ ISO 712:2015 Зернові та продукти з них. Визначення вмісту вологи. Контрольний метод (ISO 712:2009, IDT)
157. Титко Р., Калініченко В. Відновлювані джерела енергії (досвід Польщі для України) : навчальний посібник. Варшава : OWG, 2010. 530 с.
158. Трипольська Г. С. Агробіоенергетичний ринок України : монографія. Київ : Ін-т економіки та прогнозування, 2011. 264 с.
159. Угляр Ю. М., Борщишин І. Д., Хром'як У. В. Електрофлокоагуляційне очищення стічних вод підприємства ТОВ «Коломийський м'ясокомбінат». *Східно-Европейський журнал передових технологій: екологія*. 2014. №2/10 (68). С. 30–34.
160. Фоновий вміст мікроелементів в ґрунтах України / А. І. Фатєєв та ін. Харків, 2003. 120 с.
161. Федорук Ю. В., Хахула В. С., Герасименко Л. А. Ріст і розвиток рослин міскантусу гігантського залежно від фону живлення у Правобережному Лісостепу України. *Біоресурси і природокористування*. 2018. № 10 (1/2). С. 101–107.
162. Фурманець Ю., Фурманець М. Продуктивність енергетичної верби за різної густоти та удобрення в умовах західного полісся. *Інноваційні технології в агровиробництві та природокористуванні: проблеми та перспективи* : матеріали Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. 17 червня 2021 р. Шубків, 2021. С. 67–68.
163. Фучило Я. Д., Сінченко В. М., Гументик М. Я. Особливості вирощування енергетичної верби. *Біоенергетика*. 2016. № 1 (7). С. 11–13.
164. Фучило Я. Д., Сбитна М. В. Верби України (біологія, екологія, використання). Київ : Логос, 2009. 200 с.
165. Створення та вирощування енергетичних плантацій верб і тополь / Фучило Я. Д., Сбитна М. В., Фучило О. Я., Літвін В. М. Київ : Логос, 2009. 245 с.

166. Свічграс: екологічно чиста енергія / Хіврич О., Гументик М., Максименко О., Фурса А.. *Пропозиція*. 2015. № 6. С. 74–78.
167. Хомутецька Т., Хоружий В., Нор В. Оптимізація роботи установок при знезалізненні підземних і доочищенні стічних вод. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2022. № 38. С. 55–65.
168. Чеботько К. О. Технології приготування органомінеральних добрив на основі осади стічних вод. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2000. Вип. 26. С. 85–87.
169. Чепурко Ю., Голік Ю. Пошук відновлюваних видів палива в післявоєнний період. *Collection of scientific papers «SCIENTIA»*, Singapore, Febr. 24, 2023. Singapore, 2023. P. 150–153.
170. Черниш Є. Ю., Пляцук Л. Д. Теоретичне обґрунтування технології комплексної переробки осади міських стічних вод. *Екологічна безпека*. 2011. № 2 (12). С. 98–100.
171. Екологічна біотехнологія : навч. посіб. / Швед О. В., Миколів О. Б., Комаровська-Порохнявець О. З., Новіков В. П. Львів : Львівська політехніка, 2010. 368 с.
172. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І. Агрохімія: Теоретичні основи формування врожаю. Луцьк : Надстир'я. 2012. Ч. 1. 195 с.
173. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І. Агрохімія: Добрива та їх вплив на біопродуктивність ґрунту. Луцьк : Надстир'я, 2012. Ч. 2. 439 с.
174. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Адаптація світового досвіду утилізації осади стічних вод до екологічних умов України. *Науковий вісник ЛНТУ України*. 2019. Вип. 29 (2). С. 82–87.
175. Шпичак О. М. Проблеми продовольчої безпеки та біопаливо. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2009. Вип. 141. С. 18–26.

176. Шпичак О. М., Боднар О. В., Пашко С. О. Виробництво біопалива в Україні в контексті оптимального вирішення енергетичної проблеми. *Економіка АПК*. 2019. № 3. С. 13–30

177. Щербина О. М. Вербa енергетична: використання та вирощування. Ужгород : Вид-во В. Падяка, 2011. 104 с.

178. Якість ґрунту. Відбирання проб: ДСТУ 4287:2004. – [Чинний від 2005–07–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 10 с. – (Національний стандарт України).

179. Якість ґрунту. Попереднє обробляння зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT) : ДСТУ ISO 11464:2007. – [Чинний від 2009–10–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 18 с. – (Національний стандарт України).

180. Якість ґрунту. Визначання щільності складення на суху масу (ISO 11272-1998, IDT) : ДСТУ ISO 11272-2001. – [Чинний від 2003–07–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2003. – 12 с. – (Національний стандарт України).

181. Якість ґрунту. Методи визначання доступної (лабільної) органічної речовини: ДСТУ 4732:2007. – [Чинний від 2008–01–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 12 с. – (Національний стандарт України).

182. ДСТУ 7537:2014 Якість ґрунту. Визначення гідролітичної кислотності ДСТУ 7537:2014

183. ДСТУ 4730 : 2007. Якість ґрунту. Визначання гранулометричного складу методом піпетки в модифікації Н. А. Качинського. [Чинний від 2008–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 8 с.

184. ДСТУ ISO 11465–2001. Якість ґрунту. Визначання сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT). [Чинний від 2003–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 9 с.

185. ДСТУ 4770.3 : 2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кадмію в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-

абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

186. ДСТУ 4770.5 : 2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук кобальту в ґрунті в буферній амонійно–ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно – абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01– 01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

187. ДСТУ 4770.1 : 2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 9 с.

188. ДСТУ 4770.6 : 2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

189. ДСТУ 4770.6 : 2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук міді в ґрунті в буферній амонійно–ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно–абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

190. ДСТУ 4770.7 : 2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук нікелю в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

191. ДСТУ 4726 : 2007. Якість ґрунту. Визначення загального азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського : ДСТУ 4726 : 2007 [Чинний від 2008–01–01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.

192. Якість ґрунту. Визначення нітратного і амонійного азоту в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського : ДСТУ 4729:2007. – [Чинний від 2008–01–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 14 с. – (Національний стандарт України).

193. Якість ґрунту. Мікробіологія ґрунту. Метод визначення нітріфікаційної активності. ДСТУ 8578:2015 [Чинний від 2015–18–12]. – Перелік основних нормативних документів у галузі ґрунтознавства, агрохімії та охорони ґрунтів (актуалізований станом на 31.12.2020 р.).

194. Якість ґрунту. Визначення загальної біологічної активності газохроматичним методом. ДСТУ 8644:2016 [Чинний від 2016–31–05]. – Перелік основних нормативних документів у галузі ґрунтознавства, агрохімії та охорони ґрунтів (актуалізований станом на 31.12.2020 р.).

195. Якість ґрунту. Визначання рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА : ДСТУ 4405:2005. – [Чинний від 2006–07–01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – III, 7 с. – (Національний стандарт України).

196. Якимчук А. Ю. Економічне обґрунтування проєктів щодо вирощування верби біоенергетичної. *Національний університет водного господарства та природокористування. Сер. Економіка*. 2011. Вип. 2 (54). С. 232–237.

197. Якубів В. М., Максимів Ю. В., Григорук І. І. Класифікація інструментів державної стимуляційної політики розвитку ринку біопалива. *Регіональна економіка*. 2018. № 4. С. 122–130.

198. . A critical review of nitrogen mineralization in biosolids-amended soil, the associated fertilizer value for crop production and potential for emissions to the environment / H. Rigby et all. *Sci. Total Environ.* 2016. Vol. 541. P. 13101338. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2015.08.089](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.089).

199. Absolute and specific enzymatic activities of sandy entisol from tropical dry forest, monoculture and intercropping areas / E.V. De Medeiros et all. *Soil Tillage Res.* 2015. Vol. 145. P. 208–215.

200. Agricultural utilisation of municipal sludge in willow plantation / Stachowicz F. et all. *E3S Web of Conferences*. 2016. Vol. 10. 00088. DOI: [10.1051/e3sconf/20161000088](https://doi.org/10.1051/e3sconf/20161000088) (Last accessd: 12.11.2023).

201. Allelopathic and intraspecific growth competition effects establishment of direct sown *Miscanthus* / Awty-Carroll D., Hauck B., Clifton-Brown J., Robson P. *GCB Bioenergy*. 2020. Vol. 12. №6. P. 396–409.
202. Alshehrei F., Al-Enazi N. M., Ameen F. Vermicomposting amended with microalgal biomass and biochar produce phytopathogen-resistant seedbeds for vegetables. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021. № 1(2021). P. 1–8. DOI: [10.1007/s13399-021-01770-w](https://doi.org/10.1007/s13399-021-01770-w).
203. Andersson P.-G. Slamspridning på åkermark – Fältförsök med kommunalt avloppsslam från Malmö och Lund under åren 1981–2014. Hushållningssällskapets rapportserie № 17. Svenskt Vatten Utveckling, 2015. 60 p. URL: <http://hushallningssallskapet.se/wpcontent/uploads/2015/05/slamrapport-2015.pdf> (Last accessd: 22.10.2023).
204. Antoniadis V., Koutroubas S.D., Fotiadis S. Nitrogen, phosphorus, and potassium availability in manure- and sewage sludge–applied soil. *Commun Soil Sci Plant Anal*. 2015. Vol. 46. P. 393–404. DOI: [10.1080/00103624.2014.983241](https://doi.org/10.1080/00103624.2014.983241).
205. Artificial neural networks for modeling ammonia emissions released from sewage sludge composting / Boniecki P., Dach J., Pilarski K., Piekarska-Boniecka H. *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 57. P. 49–54.
206. Assessment and accumulation of microplastics in sewage sludge at wastewater treatment plants located in Cádiz, Spain / A. A. Franco et al. *Environmental Pollution*. 2023. № 317. 120689. DOI: [10.1016/j.envpol.2022.120689](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120689).
207. Balan S., Kumar B., Bals S. Chundawat M.J., Dale B. Neural Networks in Statistica Program 2012. <http://www.statsoft.com/textbook/neuralnetworks/>. Chapter <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00938>
208. Bartkowiak A., Lemanowicz J., Lamparski R. Assessment of selected heavy metals and enzyme activity in soils within the zone of influence of various tree species. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 14077. DOI: [10.1038/s41598-020-69545-3](https://doi.org/10.1038/s41598-020-69545-3).

209. Bench-scale fixed-bed column study for the removal of dye-contaminated effluent using sewage-sludge-based biochar / N. M. Y. Al-Mahbashi et al. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, № 11. P. 64–84. DOI: [10.3390/su14116484](https://doi.org/10.3390/su14116484).
210. Bioaccumulation and translocation of heavy metals in tropical plants during sewage sediment in podzols soils / V. Lopushnyak et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, № 6. P. 178–187. DOI: [10.12912/27197050/152919](https://doi.org/10.12912/27197050/152919).
211. Bioconcentration of heavy metals in vermicomposting earthworms (*Eisenia fetida*, *Perionyx excavatus* and *Lampito mauritii*) in Nepal / R. Panday et al. *J. Microbiol. Biotech Food Sci*. 2014. Vol. 3, № 5. P. 416–418.
212. Bioenergy from wastewater-based biomass / Sims R.C. et al. *AIMS Bioengineering*. 2016. Vol. 3, № 1. P. 103–124. DOI: 10.3934/bioeng.2016.1.103.
213. Biomass production, metal and nutrient content in sorghum plants grown on soils amended with sewage sludge / Arlo L., Beretta A., Szogi A. A., Del Pino A. *Heliyon*. 2021. Vol. 8, № 1. 08658. DOI: [10.1016/j.heliyon.2021.e08658](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08658).
214. Biorefinery potential of sustainable municipal wastewater treatment using fast-growing willow / Sas E. et al. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 792. P 148146. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.148146](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148146).
215. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: Vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture / S. A. Bhat et al. *Bioresource Technology*. 2018. Vol. 252. P. 172–179.
216. Bolesta W., Głodniok M., Styszko K. From sewage sludge to the soil – transfer of pharmaceuticals: a review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022. Vol. 19, № 16. P. 10246. DOI: [10.3390/ijerph191610246](https://doi.org/10.3390/ijerph191610246).
217. Borjesson G., Kirchmann H., Katterer T. Four Swedish long-term field experiments with sewage sludge reveal a limited effect on soil microbes and on metal uptake by crops. *J. Soils. Sediments*. 2014. Vol. 14. P. 164–177. DOI: [10.1007/s11368-013-0800-5](https://doi.org/10.1007/s11368-013-0800-5).

218. Biological absorption of chemical elements in topinambur plants by separation of wastewater in podzol soil / V. Lopushnyak et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, № 9. P. 18–24. DOI: [10.12911/22998993/150648](https://doi.org/10.12911/22998993/150648).

219. Caslin B., Finnan J., McCracken A. et al. Willow varietal identification guide. Carlow, Ireland : teagasc & AFBI, 2012. 64 p.

220. Characterization of *Miscanthus × giganteus* lignin isolated by ethanol Organosolv process under reflux condition / S. Bauer et al. *Bau Journal Agricultural Food Chemistry*. 2012. Vol. 60, №3. P. 8203–8212. DOI: [10.1021/jf302409d](https://doi.org/10.1021/jf302409d)

221. Chu D., Ye ZL., Chen S. Interactions among low-molecular-weight organics, heavy metals, and Fe(III) during coagulation of landfill leachate nanofiltration concentrate. *Waste Manage.* 2020. Vol. 104. P. 51–59.

222. Co-Combustion Characteristics of Municipal Sewage Sludge and Coal in a Lab-Scale Fluidized Bed Furnace / Z. Qu et al. *Energies*. 2023. Vol. 16, № 5. P. 2374. DOI: [10.3390/en16052374](https://doi.org/10.3390/en16052374).

223. Co-incineration effect of sewage sludge and municipal solid waste on the behavior of heavy metals by phosphorus / Chen M., Oshita K., Takaoka M., Shiota K. *Waste Management*. 2022. Vol. 152. P. 112–117.

224. Comparable levels of microbial contamination in soil and on tomato crops after drip irrigation with treated wastewater or potable water / Orlofsky E. et al. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2016. Vol. 215. P. 140–150.

225. Comparative study on humic substances isolated in thermal groundwaters from deep aquifers below 700 m. / A. Kovács et al. *Geochemical journal*. 2012. Vol. 1. P. 211–225.

226. Comparing the impacts of drip irrigation by freshwater and reclaimed wastewater on the soil microbial community of two citrus species / F. Bastida et al. *Agricultural Water Management*. 2018. Vol. 203. P. 53–62.

227. Comprehensive Assessment of Pollution of Sod-Podzolic Soils / V. Lopushnyak et al. *Scientific research in the modern world : Proceedings of VI*

International Scientific and Practical Conference, 6-8 april 2023. Toronto, 2023. P. 12–26.

228. Contamination of organic nutrient sources with potentially toxic elements, antibiotics and pathogen microorganisms in relation to P fertilizer potential and treatment options for the production of sustainable fertilizers: a review / E. Bloem et al. *Sci. Total Environ.* 2017. Vol. 607. P. 225–242. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.06.274](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.274).

229. Contamination of Underground Soils by the Contribution of Sewage Sludge Under *Miscanthus Giganteus* / V. Lopushniak et al. *Current questions of modern science* : Матеріали III Міжнародно-науково-практичної конференції, 09-10 березня 2023. Івано-Франківськ, 2023. С. 5–11.

230. Co-pyrolysis of sewage sludge and Ca (H₂PO₄)₂: heavy metal stabilization, mechanism, and toxic leaching / W. Gu et al. *Journal of environmental management*. 2022. Vol. 305. P. 114292. DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.114292](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114292).

231. Co-pyrolysis technology for enhancing the functionality of sewage sludge biochar and immobilizing heavy metals / Fan Z. et al. *Chemosphere*. 2023. Vol. 317. 137929. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2023.137929](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.137929).

232. Cupiał K., Jamrozik A. Instalacja zgazowująca osuszony osad ściekowy. *Motrol.* 2011. Vol. 13. P. 80–93.

233. Cydzik-Kwiatkowska A., Milojevic N., Jachimowicz P. The fate of microplastic in sludge management systems. *Science of The Total Environment*. 2022. 157466. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.157466](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157466).

234. Cytogenetic analysis of *Miscanthus × giganteus* and its parent forms / A. Chramiec-Głębik et al. *Caryologia*. 2012. Vol. 65, № 3. P. 234–242. DOI: [10.1080/00087114.2012.740192](https://doi.org/10.1080/00087114.2012.740192).

235. Czekala J. Osady ściekowe – nawóz czy odpad? *Przegląd Komunalny*. 2009. Vol. 1, № 59. P. 30–35.

236. De Bhowmick G., Sarmah A. K. Microplastics contamination associated with land-application of biosolids—A Perspective. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2022. Vol. 26. P. 100342. DOI: [10.1016/j.coesh.2022.100342](https://doi.org/10.1016/j.coesh.2022.100342).

237. Detoxification of Sewage Sludge by Natural Attenuation and Application as a Fertilizer / T. Raza et al. 2023. Vol. 572. P. 245–247.

238. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral / V. L. Costa et al. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2014. Vol. 18. P. 287–93. DOI: [http:// dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300007](http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000300007)

239. Doronyn V.A., Kravchenko Y.A., Busol M.V. 2014. Method of determining the quality of candlegrass seeds. Scientific works of the Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beets. Kyiv, 22, 22–27.

240. Drivers of plant-availability of phosphorus from thermally conditioned sewage sludge as assessed by isotopic labeling / Andriamananjara A., Rabearisoa L., Prud'homme L., Morel C. *Front Nutr*. 2016. Vol. 3. P. 19. DOI: [10.3389/fnut.2016.00019](https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00019).

241. Dynamics of macro elements content in eutric podzoluvisols for separation of wastewater under jerusalem artichokes / V. Lopushnyak et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, № 4. P. 33–42.

242. Effect of ions on clogging and biofilm formation in drip emitters applying secondary sewage effluent / Hao F., Li J., Wang Z., Li Y. *Irrigation and Drainage*. 2017. Vol. 66, № 5. P. 687–698.

243. Effects of ascorbic acid and copper treatments on metallothionein gene expression and antioxidant enzyme activities in *Helianthus annuus* L. exposed to chromium stress / G. Agar et al. *J. Plant Growth Regul*. 2020. Vol. 39, № 2. P. 897–904. DOI: [10.1007/s00344-019-10031-0](https://doi.org/10.1007/s00344-019-10031-0).

244. Effects of biochar on the degradation of organophosphate esters in sewage sludge aerobic composting / Pang L. et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2023; Vol. 442. P. 130047. URL: [10.1016/j.jhazmat.2022.130047](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.130047).

245. Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area / M. Farhadkhani et al. *Water Research*. 2018. № 144. P. 356–364.

246. Effects of treated municipal wastewater irrigation on soil properties, switchgrass biomass production and quality under arid climate / Ganjegunte G., Ulery A., Niu G., Wu Y. *Industrial Crops and Products*. 2017. № 99. P. 60–69.

247. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield / Urbano V. R., Mendonça T. G., Bastos R. G., Souza C. F. *Agricultural Water Management*. 2017. Vol. 181. P. 108–115.

248. Enhanced uptake of Cd, Cr, and Cu in *Catharanthus roseus* (L.) G. Don by *Bacillus cereus*: Application of moss and compost to reduce metal availability / M.U. Mushtaq et al. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. Vol. 27. P. 39807–39818. DOI: [10.1007/s11356-020-08839-5](https://doi.org/10.1007/s11356-020-08839-5).

249. Ermantraut E.R., Bobro M.A., Goptsiy T.I. 2008. Methods of scientific research in agronomy: textbook. manual Kharkiv: Kharkiv. nat. agrarian. Univ. V.V. Dokuchaeva, 64 . 36. Roik D., Rakhmetov B. Goncharenko S.M. 2014, 637–651.

250. European Bioenergy Outlook. AEBIOM. URL: <https://bioenergyeurope.org/statistical-report.html> (Last accessed: 10.10.2023).

251. European Union legislation on sewage sludge management / V. J. Inglezakis et al. *Fresenius Environ Bull.* 2014. Vol. 23, №2a. P. 635–639.

252. Evaluation of phosphorus in thermally converted sewage sludge: P pools and availability to wheat / J. E. Mackay et al. *Plant Soil*. 2017. Vol. 418. P. 307–317. DOI : [10.1007/s11104-017-3298-6](https://doi.org/10.1007/s11104-017-3298-6) (Last accessed: 08.03.2022).

253. Evaluation of phytotoxicity of compost during composting process / Selim Sh. M., Mona S., Zayed M., Houssam A. *Nature and Science*. 2012. Vol. 10. P. 69–77.

254. Evaluation of the potential risks of heavy metal contamination in rice paddy soils around an abandoned Hg mine area in Southwest China / B. Adlane et al. *Acta Geochim.* 2020. Vol. 39. P. 85–95.

255. Evans T. D. Sewage sludge: Operational and Environmental Issues. *Foundation of Water Research*. 2011. Vol. 34. [online]. URL: <http://www.fwr.org/sludge.pdf>. (Last accessed: 15.05.2019).

256. Exploring PCDD/Fs and potentially toxic elements in sewage sludge during smouldering treatment / T. Fournie et al. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 317: 115384. DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.115384](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115384).

257. Extraction and separation of lipids from municipal sewage sludge for biodiesel production: Kinetics and thermodynamics modeling / A. A. Alsaedi et al. *Fuel*. 2022. Vol. 325. P. 124946. DOI: [10.1016/j.fuel.2022.124946](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124946).

258. Fate of microplastics in agricultural soils amended with sewage sludge: Is surface water runoff a relevant environmental pathway? / T. Schell et al. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 293. 118520. DOI: [10.1016/j.envpol.2021.118520](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118520)

259. Fate of organic pollutants in sewage sludge during thermal treatments / Alipour M., Asadi H., Chen C., Besalatpour A. A. *Elimination of PCBs, PAHs, and PPCPs. Fuel*. 2022. Vol. 319. P. 123864. DOI: [10.1016/j.fuel.2022.123864](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123864).

260. Fate of the fecal indicator *Escherichia coli* in irrigation with partially treated wastewater / Vergine P. et al. *Water Research*. 2015; Vol. 85. P. 66–73.

261. Forecasting the Productivity of the Agrophytocenoses of the *Miscanthus Giganteus* for the Fertilization Based on the Wastewater Sedimentation / Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Kotsyubynsky A., Lopushniak G. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, № 2. P. 11–19.

262. From agricultural use of sewage sludge to nutrient extraction: a soil science outlook / Kirchmann H., Borjesson G., Katterer T., Cohen Y. *Ambio*. 2017. Vol. 46. P. 143–154. DOI: [10.1007/s13280-016-0816-3](https://doi.org/10.1007/s13280-016-0816-3).

263. Furtural production from *Miscanthus* by on step pyrolysis / S. B. Kim et al. *International proceedings of Chemical, Biological, Environmental engineering*. 2012. Vol. 28. P. 166–170.

264. Gamajunova V., Iskakova O., Janchuk V. Sustainable land management as an instrument to improve ecological and economic efficiency of agricultural land use. *Scientific Papers Series. Management Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 20(4), 2020. P. 219–226.

265. Gamayunova V., Sydiakina O., Dvoretzkyi V., Markovska O. Productivity of Spring Triticale under Conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. P. 22(2), P. 104–111

266. Gao D., Li X., Liu H. Source, occurrence, migration and potential environmental risk of microplastics in sewage sludge and during sludge amendment to soil. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 742. 140355. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.140355](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140355).

267. Gasification of Sewage Sludge in a Rotary Kiln Reactor–A Case Study with Incorporation of Sewage Sludge Ash in Brick Production / Bubalo A., Vouk D., Maljković D., Bolanča T. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*. 2022. Vol. 36, № 1. P. 77–87.

268. Gawdzik J., Gawdzik B. Mobility of heavy metals in municipal sewage sludge from different throughput sewage treatment plants. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2012. Vol. 21, № 6. P. 1603–1611.

269. Giunchi T., Veronesi G., Zecchi G. Composting plant in the city of Forli – the public administration experience. *The Science of Composting*. Dordrecht : Springer Netherlands, 1996. P. 748-757.

270. Grobelak A., Czerwinska K., Murtas A. General considerations on sludge disposal, industrial and municipal sludge. *Industrial and Municipal Sludge*. 2019. P. 135–153. DOI: [10.1016/B978-0-12-815907-1.00007-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00007-6).

271. Grosser A. The influence of decreased hydraulic retention time on the performance and stability of codigestion of sewage sludge with grease trap sludge and organic fraction of municipal waste. *J. Environ. Management*. 2017. Vol. 203, № 3. P. 1143–1157.

272. Hamne'r K., Kirchmann H. Trace element concentrations in cereal grain of long-term field trials with organic fertilizer in Sweden. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 2015. Vol. 103. P. 347–358. DOI: [10.1007/s10705-015-9749-7](https://doi.org/10.1007/s10705-015-9749-7).

273. Heavy metal accumulation potential of some wetland plants growing naturally in the city of Kolkata, India / Jha P., Samal AC., Santra S.C., Dewanji A. *American Journal of Plant Sciences.* 2016. Vol. 7, № 15. P. 21-38.

274. Heavy metal stress and responses in plants / N.H. Ghori et al. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2019. Vol. 16. P. 1807–1828.

275. Henin S., Dupuis M. Essai de bilan de la matie`re organique des sols. *Ann. Agron.* 1945. Vol. 15 (1). P. 161-172.

276. Henseler M., Gallagher M. B., Kreins P. Microplastic pollution in agricultural soils and abatement measures—a model-based assessment for Germany. *Environmental Modeling & Assessment.* 2022. Vol. 27, № 4. P. 553–569.

277. Hrytsuliak H., Lopushniak V. Influence Fertilizer sewage sludge on the size harvest topinambour *Acta Carpathica.* Rzeszow, 2018. P. 23–25.

278. Hu T., Wang H., Tan S. Effect of reclaimed water irrigation modes on the structural properties and hydraulic conductivity of tidal soil. *Journal of Soil and Water Conservation.* 2020. Vol. 34, № 2. P. 146–152.

279. Impact of primary sedimentation on granulation and treatment performance of municipal wastewater by aerobic granular sludge process / Kosar S. et al. *Journal of Environmental Management.* 2022. Vol. 315. P. 115191. URL: [10.1016/j.jenvman.2022.115191](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115191) (Last accessd: 08.09.2023).

280. Improved life cycle modelling of benefits from sewage sludge anaerobic digestion and land application / Heimersson S., Svanström M., Cederberg C., Peters G. *Resources, Conservation and Recycling.* 2017. Vol. 122. P. 126–134. DOI: [10.1016/j.resconrec.2017.01.016](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.016)

281. Improving combustion quality of Miscanthus by adding biomass from perennial flower-rich wild plant species / Von Cossel M. et al. *Renewable and*

Sustainable Energy Reviews. 2022. Vol. 168. 112814. DOI: [10.1016/j.rser.2022.112814](https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112814).

282. Indices of soil and plant cover pollution due to re-introduction of sediment water under the energy willow on aluvisol of Ukraine / V. Lopushniak et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. Vol. 24, № 3. P. 201–211.

283. Industrial and municipal sludge: Emerging concerns and scope for resource recovery / M. N. V. Prasad et al., ed. by de Campos Favas P. J. Butterworth-Heinemann, 2019. 816 p.

284. Influence of urban sewage sludge amendment on agricultural soil parameters / Dhanker R., Chaudhary S., Goyal S., Kumar G. V. *Environmental Technology & Innovation*. 2021. Vol. 23. P. 101642. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101642>.

285. Innemanová P., Grasserová A. Cajthaml pilot-scale vermicomposting of dewatered sewage sludge from medium-sized WWTP. *Detritus*. 2022. Vol. 18. P. 35.

286. Insights on the advanced separation processes in water pollution analyses and wastewater treatment / Elehinafe F. B., Agboola O., Vershima A. D., Bamigboye G. O. A review. *South African Journal of Chemical Engineering*. 2022. Vol. 848. p. 157466. DOI: [10.1016/j.sajce.2022.08.004](https://doi.org/10.1016/j.sajce.2022.08.004).

287. Intense denitrification and sewage effluent result in enriched ^{15}N in N_2O from urban polluted rivers / Li X., Yu Y., Fan H., Tang, C. *Journal of Hydrology*. 2022. Vol. 608. 127631. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2022.127631](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.127631).

288. Intercropping improves heavy metal phytoremediation efficiency through changing properties of rhizosphere soil in bamboo plantation / F. Bian et al. *J. Hazard. Mater*. 2021. Vol. 416. P. 125898. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2021.125898](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125898).

289. Investigation and analysis of microplastics in sewage sludge and biosolids: A case study from one wastewater treatment works in the UK / Harley-Nyang D., Memon F. A., Jones N., Galloway T. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 823. P. 153735. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.153735](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153735).

290. Is sewage sludge a valuable fertilizer? A soil microbiome and resistome study under field conditions / Markowicz A. et al. *J. Soils Sediments*. 2021. Vol. 21. P. 2882–2895. DOI: [10.1007/s11368-021-02984-1](https://doi.org/10.1007/s11368-021-02984-1).

291. Is the long-term application of sewage sludge turning soil into a sink for organic pollutants? evidence from field studies in the Czech Republic / J. Pulkrabová et al. *Journal of Soils and Sediments*. 2019. Vol. 19, № 5. P. 2445–2458. DOI: [10.1007/s11368-019-02265-y](https://doi.org/10.1007/s11368-019-02265-y).

292. Jefferson P.G., McCaughey M.P. 2012. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) cultivar adaptation, biomass production, and cellulose concentration as affected by latitude of origin. *ISRN Agronomy*; 2012763046 <http://dx.doi.org/10.5402/2012/763046>

293. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. 2019. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 2, 1–12. DOI: 10.1016/j.aiia.2019.05.004

294. Kalinichenko A. V., Vakulenko Y. V., Galych O. A. Ecological and economic aspects of feasibility of using crop products in alternative energy. *Actual Problems of Economics*. 2014. Vol. 161, №11. P. 202–208.

295. Kelessidis A., Stasinakis A.S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. *Waste Management*. 2012. Vol. 32, № 6. P. 1186–1195.

296. Kholodna A. S. Soil factors of floodplain soils that limit growth of energy crops. *Gruntoznavstvo*. 2016. Vol. 17, № 3–4. P. 43–49.

297. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. Effect of sewage sludge-based fertilizers on biomass growth and heavy metal accumulation in plants. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 305. P. 114417. DOI: [10.1016/j.jenvman.2021.114417](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114417).

298. Lamastra L., Suciú N. A., Trevisan M. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. *Chemical and*

Biological Technologies in Agriculture. 2018. Vol. 5, № 1. P. 1–6.
DOI: [10.1186/s40538-018-0122-3](https://doi.org/10.1186/s40538-018-0122-3).

299. Lederer J., Rechberge H. Comparative Goal–Oriented Assessment of Conventional and Alternative Sewage Sludge Treatment Options. *Waste Management*. 2010. Vol. 30. P. 1043–1056.

300. Lesschen J.-P., Kulyk M., Galytska M. 2013 Switchgrass (*Panicum virgatum* L.). a perennial biomass grass for efficient production of feedstock for the biobased economy, 4–28.

301. Li J. Increasing crop productivity in an eco-friendly manner by improving sprinkler and micro-irrigation design and management: a review of 20 years' research at the IWHR, China. *Irrigation and Drainage*. 2018. Vol. 67, № 1. P. 97–112.

302. Littlejohn C. P., Hofmann R. W., Wratten S. D. Delivery of multiple ecosystem services in pasture by shelter created from the hybrid sterile bioenergy grass *Miscanthus x giganteus*. *Scientific reports*. 2019. Vol. 9, № 1. 5575.
DOI: [10.1038/s41598-019-40696-2](https://doi.org/10.1038/s41598-019-40696-2).

303. Living Machines for Bioremediation, Wastewater Treatment, and Water Conservation / Hung Yu., Joseph Y., Hawumba F., Lawrence K. Wang. *Modern Water Resources Engineering*. 2014. Vol. 15. P. 681–713.

304. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** Agrochemical properties of sod-podzolic soil for fertilizer application during the cultivation of cup plant *silphium perfoliatum*. *Achievements and prospects of modern scientific research : Abstracts of III International scientific and practical conference*. Buenos Aires, 2021. P. 7–9.

305. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** The Models of the Heavy Metal Accumulation of the Multiple Grain Energy Cultures for Wasterwater Deposition on Oil-Polluted Degraded Soils. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2021. Vol. 22, № 4. P. 9-17.

306. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** Change in the Humus State of Aluvisol Due to Implementation of Sediment of Sewage Sludge Under the Energy Willow. *Technical and agricultural sciences in modern realities: problems, prospects and*

solutions. General Agriculture. Collective monograph. Boston : Primedia eLaunch, 2023. P. 278–297. URL: <https://isg-konf.com/technical-and-agricultural-sciences-in-modern-realities-problems-prospects-and-solutions/A> (Last accessed: 10.09.2023). DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.2.

307. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** Influence of sediment of wastewater on the change of agro-ecological indicators of a sod-pedosal soil under energy willow. Prospective and priority directions of scientific research in technical and agricultural sciences. Collective monograph. International Science Group. Boston : Primedia eLaunch, 2023. P. 159–190. URL: <https://isg-konf.com/prospective-directions-of-scientific-research-in-engineering-and-agriculture/>. (Last accessed: 10.09.2023). DOI: 10.46299/ISG.2023.MONO.TECH.1.

308. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.** The Intensity of the Heavy Metals by Topinambur in the Conditions of the Oil-Polluted Areas. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 52, № 6. P. 1334–1345.

309. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Baran B. Prospects of Using Bioenergy Cultures for Phytoremediation of Turn-Podzole Oil-Polluted Soils. *Science, trends and perspectives of developmen* : Abstracts of VII International Scientific and Practical Conference, February 21-23, 2022. Budapest, 2022. P. 14–21.

310. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Chupa V., Fedorko N. Overview of the Current. *Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів* : Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф, 23-25 листопада. Київ, 2021. С. 79–89. DOI: [10.33730/2310-4678.1.2019.170592](https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2019.170592)

311. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Lopushniak G. Statistical analysis of the experimental data on the content of heavy metals in sod-podzolic soils, depending on the introduction of sewage sludge under energy willow. *Indian Academicians and Researchers Association* : International e-Conference on Research and Development in Science, Technology and management in the Current Era. India, 2021. P. 33–41..

312. Lopushniak V., **Hrytsuliak H.**, Polutrenko M., Kotsyubynsky A. Problems of Sale of Agricultural Products During the Pandemic Period. *Агрохімічні*

ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів : Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 23-25 листопада 2021 р. Київ, 2021. С. 101–107.

313. Lopushniak V., **Hrytsulyak H.** Translocation of Heavy Metals (Pb, Cd, Ni, Co) in Energy Willow Plants Growing on Oil-Contaminated Subsoil Soils. 16th International Conference *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Nov 2022. Vol. 2022. p. 1–5. DOI: [10.3997/2214-4609.2022580128](https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580128)

314. Lopushnyak V., **Hrytsulyak H.**, Lopushniak H., Voloshyn Y. Integral Assessment of Pollution of Sod-podzolic Soils by Application of Sewage Sludge Under *Miscanthus x giganteus*. *International Journal of Environmental Studies*. Vol. 80, № 2. 2023. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207233.2022.2147725> (Last accessed: 03.03.2023).

315. Low stabilization of aboveground crop residue carbon in sandy soils of Swedish long-term experiments / C. Poeplau et al. *Geoderma*. 2015. Vol. s 237–238. P. 246–255. DOI: [10.1016/j.geoderma.2014.09.010](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.09.010).

316. Luczkiewicz A. Soil and Groundwater Contamination as a Result of Sewage Sludge Land Application. *Polish J. of Environ. Stud.* 2006. Vol. 15, №6. P. 869–876.

317. Łukowski A. 2017. Fractionation of heavy metals (Pb, Cr and Cd) in municipal sewage sludges from Podlasie Province. *Journal of Ecological Engineering*. 2017. Vol. 18, № 1. P. 132–138.

318. Luyckx L., Van Caneghem J. Recovery of phosphorus from sewage sludge ash: Influence of chemical addition prior to incineration on ash mineralogy and related phosphorus and heavy metal extraction. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022. Vol. 10, № 4. 108117. DOI: [10.1016/j.jece.2022.108117](https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108117).

319. Magner J., Rosenqvist L., Rahmberg M., Graae L., Eliaeson K., Ortlund L., Fang J., Brorstrom-Lunden E. Fate of pharmaceutical residues – in sewage treatment and on farmland fertilized with sludge. IVL report no. B 2264, IVL Swedish

Environmental Research Institute Ltd., 2016.

URL: <http://www.ivl.se/download/18.29aef808> (Last accessed: 08.03.2023).

320. Mamera M., Van Tol J. J., Aghoghovwia M. P. Treatment of faecal sludge and sewage effluent by pinewood biochar to reduce wastewater bacteria and inorganic contaminants leaching. *Water Research*. 2022. Vol. 221. P. 118775. DOI: [10.1016/j.watres.2022.118775](https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118775).

321. Management of biological sewage sludge: Fertilizer nitrogen recovery as the solution to fertilizer crisis / K. Chojnacka et al. *Journal of Environmental Management*. 2023. Vol. 326, Part A, 15 January 2023, 116602. DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.116602](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116602).

322. Mani S., L. Tabil S. Sokhansanj Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*. 2006. Vol. 30. P. 648 – 654.

323. Mann D.G.J., LaFayette P.R., Abercrombie L.L., King Z.R., Mazarei M., Halter M.C., et al. Gateway-compatible vectors for high-throughput gene functional analysis in switchgrass (*Panicum virgatum* L.) and other monocot species. *Plant Biotechnol. J.* 10, 2012. P. 226–236. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2011.00658>

324. Marin E., Carmen O. R. Agricultural Use of Urban Sewage Sludge from the Wastewater Station in the Municipality of Alexandria in Romania. *Water*. 2023. Vol. 15, № 3. P. 458.

325. Mattsson A., Finnson A., l’Ons D. Heavy metal content of Swedish municipal wastewater sludge—status and goals. *Water Sci Technol*. 2017. Vol. 76/ P. 869–876. DOI: [10.2166/wst.2017.277](https://doi.org/10.2166/wst.2017.277) .

326. McLaughlin S.B., Kszos L.A. Development of switchgrass *Panicum virgatum* as a bioenergy feedstock in the United States. *Biomass and Bioenergy*, 28(6), 2005. P. 515–535.

327. Microplastics persist in an arable soil but do not affect soil microbial biomass, enzyme activities, and crop yield / L. Schöpfer et al. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022. Vol. 185, № 6. P. 836-849.

328. Mininni G., Blanch A.R., Lucena F., Berselli S. EU policy on sewage sludge utilization and perspectives on new approaches of sludge management. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(10), 2014. P. 7361–7374.

329. Model of Biomass Productivity under the Influence of Change in the Phytotoxicity of Podzol Soil Due to Reintroduction of Sewage Sludge under Energy Willow / V. Lopushniak et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2022. Vol. 23, № 12. P. 217–226. [DOI: 10.12911/22998993/154773](https://doi.org/10.12911/22998993/154773).

330. Modification of properties of energy crops under Polish condition as an effect of sewage sludge application onto degraded soil / Fijalkowski K., et al. *Journal of Environmental Management*. 2018. Vol. 217. P. 509–519. DOI: [10.1016/J.JENVMAN.2018.03.132](https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2018.03.132).

331. Mohammed Y.A., Raun W., Kakani G., et al. Nutrient sources and harvesting frequenting on quality biomass production of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) for biofuel. *Biomass Bioenergy*, 81, 2015/ 242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.06.027>

332. Municipal sewage sludge, aquatic weed compost on soil enzymatic activity and heavy metal accumulation in Kale (*Brassica oleracea* L.) / Z.A. Daret all. *Applied Water Science*. 2023. Vol. 13, № 2. DOI: [10.1007/s13201-022-01855-5](https://doi.org/10.1007/s13201-022-01855-5)

333. Nattywa M., Selwet M., Ambrozy K., Pocijowska M. Wpływ nawożenia N s deszczowania na liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter* w glebie pod uprawą kukurudzy w różnych fazach rozwoju rośliny. *Polish Journal of Agronomy*. 2013. Vol. 14. P. 53-58.

334. Nissim W. G., Pitre F. E., Teodorescu T. I., Labrecque M. Longterm biomass productivity of willow bioenergy plantations maintained in southern Quebec, Canada. *Biomass and Bioenergy*. 2013. Vol. 56. P. 361-369. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953413002778> (Last accessed: 08.09.2023).

335. Nizzetto L., Futter M., Langaas S. Are agricultural soils dumps for microplastics of urban origin? *Environ Sci Technol.* 2016. Vol. 50. P. 10777–10779. DOI: [10.1021/acs.est.6b04140](https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04140).

336. Nosko B.S, Prister B.S., Loboda M.V. 1994. Handbook of agrochemical and agroecological condition of soils K: Harvest. Ukraine, 95–280.

337. Nunes N., Ragonezi C., Gouveia C., Pinheiro de Carvalho M. Review of sewage sludge as a soil amendment in relation to current international guidelines: a heavy metal perspective. *Sustainability.* 2021. Vol. 13. P. 2317. DOI: [10.3390/su13042317](https://doi.org/10.3390/su13042317).

338. Nunn C., Hastings A.F.S.J., Kalinina O., Özgüven M., Schüle H. et al. Clifton-Brown Environmental influences on the growing season duration and ripening of diverse miscanthus germplasm grown in six countries *Front. Plant Sci.* 2017. Vol. 8. P. 907. DOI: [10.3389/fpls.2017.00907](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00907).

339. Nutr Cycl Agroecosyst (2018) 112:369–385 STEM (2016) Produktion och användning av biogas och rotrester år 2015. ES 2016:04. P. 23. URL: <https://www.energimyn.digiheten.se/globalassets/nyheter/2016/es-2016-04-produktion-och-anvandning-av-biogas-och-rotrester-ar-2015.pdf> (Last accessed: 23.10.2023).

340. Ociepa-Kubicka A., Pachura P. Wykorzystanie osadów ściekowych i kompostu w nawożeniu roślin energetycznych na przykładzie miskanta i ślazuowca. *Annual Set The Environment Protection.* 2013. Vol. 15. P. 2267 – 2278.

341. Ofori S., Puskacova A., Ruzickova I., Wanner J. Treated wastewater reuse for irrigation: pros and cons. *The Science of the Total Environment.* 2021. Vol. 760. 144026. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2020.144026](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144026).

342. Opportunities and challenges in sustainable treatment and resource reuse of sewage sludge: A review / A. Raheem et al. *Chem. Eng. J.* 2018. Vol. 337. P. 616–641.

343. Österås A.H., Allmyr M., Sternbeck J. Screening of organic pollutants in sewage sludge amended arable soils. Report WSP 2015-11-24, for Swedish

Environmental Production Agency, 2015. 59 p.
 URL: http://www.svensktvatten.se/globalassets/avloppochmiljo/uppstromsarbete-och-kretslopp/revaq-certifiering/naturvardsverket-rapport-screening-of-organic-pollutants-insewage-sludge-amended-arable-soils_151124-2.pdf (Last accessed: 08.06.2023).

344. P.K. Singh, P.B. Deshbhratar, D.S. Ramteke Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management*. Volume 103, January 2012, P. 100-104

345. Pei L., Liao X. Experimental study on spatial and temporal distribution regularity of arsenic in soil under the drip irrigation with reclaimed water. *Journal of Water Resource & Water Engineering*. 2018. Vol. 29 (2). P. 236–239.

346. Persson T., Svensson M., Finnson A. REVAQ certified wastewater treatment plants in Sweden for improved quality of recycled digestate nutrients. In: *Biogas in society. A case story from IEA bioenergy task 37 «Energy from biogas»*, 2015. URL: <http://www.ieabioenergy.com/publications/revaqcertified-wastewater-treatment-plants-in-sweden-for-improved-quality-of-recycled-digestate-nutrients> . (Last accessed: 03.03.2018).

347. Phosphorus availability of sewage sludgebased fertilizers determined by the diffusive gradients in thin films (DGT) technique / C. Vogel et all. *J. Plant Nutr Soil Sci*. 2017. Vol. 180. P. 594–601. DOI: [10.1002/jpln.201600531](https://doi.org/10.1002/jpln.201600531).

348. Phytoextraction of heavy metals after application of bottom ash and municipal sewage sludge considering the risk of environmental pollution / J. Antonkiewicz et all. *Journal of Environmental Management*. 2022. Vol. 306. 114517. DOI: [10.1016/j.jenvman.2022.114517](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114517).

349. Pitombo L. M., Carmo J. B., de Maria I. C., de Andrade C. A. Carbon sequestration and greenhouse gases emissions in soil under sewage sludge residual effects. *Sci Agric*. 2015. Vol. 72. P. 147–155. DOI: [10.1590/0103-9016-2013-0352](https://doi.org/10.1590/0103-9016-2013-0352) .

350. Plant roots stimulate the decomposition of complex, but not simple, soil carbon / J. A. M. Moore et al. *Funct. Ecol.* 2020. Vol. 34: P. 899–910.

351. Poeplau C., Vos C., Don A. Soil organic carbon stocks are systematically overestimated by misuse of the parameters bulk density and rock fragment content. *Soil.* 2017. Vol. 3. P. 61–66. DOI: [10.5194/soil-3-61-2017](https://doi.org/10.5194/soil-3-61-2017).

352. Pollution of Water resources of Ivano-Frankyvska Areas of Heavy Metal Salts / Lopushniak V. et al. *Агрохімічні ресурси та управління біопродуктивністю агроландшафтів* : Мат. міжнар. наук.-практ. конф., 23-25 листопада 2021. Київ, 2021. С. 101–114.

353. Polutrenko M., **Hrytsuliak H.**, Lopushniak V., Kotsyubynsky A., Savyuk R. Method of processing of terrestrial part of plants. *European scientific discussions* : Abstracts of V international scientific and practical conference. Rome, 2021. P. 1–3.

354. Polutrenko M., **Hrytsulyak H.**, Chupa K. Disposal and Recovery of Used Transformer Oils. Promising ways of solving scientific problems : The IX International Scientific and Practical Conference. 26-28.12.2022. Brussels, 2022. P. 199–201.

355. Pöykiö R., Watkins G., Dahl O. Characterisation of municipal sewage sludge as a soil improver and a fertilizer product. *Ecological Chemistry and Engineering S.* 2019. Vol. 26, № 3. P. 547–557. DOI: [10.1515/eces-2019-0040](https://doi.org/10.1515/eces-2019-0040)

356. Practical aspects of biowastes conversion to fertilizers / K. Chojnacka et al. *Biomass Conversion and Biorefinery.* 2022. P. 1–19. DOI: [10.1007/s13399-022-02477-2](https://doi.org/10.1007/s13399-022-02477-2)

357. Prediction of trace element mobility in contaminated soils by sequential extraction / M. Pueyo et al. *Journal of Environmental Quality.* 2003. Vol. 32, № 6. P. 2054–2066.

358. Productivity Model of Herbal Bioenergy Cultures Depending on Biometric Indicators of Overhead Mass / H. Hrytsuliak et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology.* 2022. Vol. 23, №2. P. 162–172. DOI: [10.12912/27197050/145731](https://doi.org/10.12912/27197050/145731).

359. Productivity Model of Herbal Bioenergy Cultures Depending on Biometric Indicators of Overhead Mass / **H. Hrytsuliak** et al. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, № 2. P. 162–172. DOI: [10.12912/27197050/145731](https://doi.org/10.12912/27197050/145731)

360. Prognostic Models of *Panicum virgatum* L. Using Artificial Neural Networks / V. Lopushniak et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22, № 11. P. 62–71. DOI: 10.12911/22998993/142958.

361. Qiu Z., Sun M. Mechanisms of impact on the soil environment of drip irrigation applying treated sewage effluent: a review in China. *Water Supply*. 2022. Vol. 22, № 6. P. 5785-5799. URL: [10.2166/ws.2022.201](https://doi.org/10.2166/ws.2022.201).

362. Ragoobur D., Huerta-Lwanga E., Somaroo G. D. Reduction of microplastics in sewage sludge by vermicomposting. *Chemical Engineering Journal*. 2022. Vol. 450. P. 138231. DOI: [10.1016/j.cej.2022.138231](https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138231).

363. Rajmund A., Bożym M. Ocena zawartości metali ciężkich w wiejskich osadach ściekowych i kompostach w aspekcie ich przyrodniczego wykorzystania. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie*. 2013. Vol. 4, № 44. P. 103–113.

364. Rani S., Bansal N., Shukla V. Earthworms: ecofriendly environmental engineers. *J. Biology Earth Sci*. 2013. Vol. 3, № 1. P. 89–92.

365. Rational application of treated sewage sludge with urea increases GHG mitigation opportunities in mediterranean soils / M. E. Calleja-Cervantes et al. *Agric Ecosyst Environ*. 2017. Vol. 238. P. 114–127. DOI: [10.1016/j.agee.2016.09.021](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.09.021).

366. Remediation of heavy metals and enhancement of fertilizing potential of a sewage sludge by the synergistic interaction of woodlice and earthworms / N. Ahadi et al. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 385. P. 121573. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2019.121573](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121573).

367. Rivier P. A. et al. Transfer of organic pollutants from sewage sludge to earthworms and barley under field conditions. *Chemosphere*. 2019. Vol. 222. P. 954960. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2019.02.010](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.010).

368. Rode H. The energy of cutting process of a selected energy plant. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. 2011. Vol. XI. P. 326–334.

369. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment / T. Katterer et al. *Agric Ecosyst Environ*. 2011. Vol. 141. P. 184–192.

370. Rorat A., Courtois P., Vandenbulcke F., Lemiere S. 8 – Sanitary and environmental aspects of sewage sludge management. *Industrial and Municipal Sludge*. Elsevier, 2019. P. 155–180. DOI: [10.1016/B978-0-12-815907-1.00008-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00008-8)..

371. Rybak M., Litvak O. Екологічні особливості вирощування енергетичної верби на забруднених важкими металами ґрунтах. *Theory, history and practice* : Multidisciplinary scientific notes in the 6th International scientific and practical conference, Edmonton, Canada, Nov. 01–04, 2022. Edmonton : International Science Group, 2022. p. 23.

372. Sarker K., Bristy M., Alam N., Baki M., Shojib F., et al. Ecological risk and source apportionment of heavy metals in surface water and sediments on Saint Martin's Island in the Bay of Bengal. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. P. 31827–31840. DOI: [10.1007/s11356-020-09384-x](https://doi.org/10.1007/s11356-020-09384-x).

373. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development / K. Fijałkowski et al. *Environmental research*. 2017. Vol. 156. P. 39–46.

374. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development / M Kacprzak et al. *Environ. Res*. 2017. Vol. 156. P. 39–46.

375. Sewage sludge in agriculture – the effects of selected chemical pollutants and emerging genetic resistance determinants on the quality of soil and crops – a review / Buta M. et al. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021; 214: 112070. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2021.112070](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112070)..

376. Sewage Sludge Management for Environmental Sustainability: An Introduction / J. B. Regitano et al. *Sustainable Management and Utilization of Sewage Sludge*. 2022. P. 1-28. DOI: [10.1007/978-3-030-85226-9_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85226-9_1)

377. Sewage sludge-derived biochar for the adsorptive removal of wastewater pollutants: A critical review / S. Rangabhashiyam et al. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 293. P. 118581. DOI: [10.1016/j.envpol.2021.118581](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118581) .

378. Shah V., Daverey A. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environ. Technol. Innov.* 2020. Vol. 18. P. 100774. DOI: [10.1016/j.eti.2020.100774](https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774).

379. Shamuyarira K. K., Gumbo J.R. Assessment of heavy metals in municipal sewage sludge: A case study of Limpopo Province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2014. Vol. 11, № 3. P. 2569–2579. DOI: [10.3390/ijerph110302569](https://doi.org/10.3390/ijerph110302569).

380. Smolders E., Six L. Revisiting and updating the effect of phosphorus fertilisers to cadmium accumulation in European agricultural soils. *Report, European Commission : Scientific Committee on Health and Environmental Risks (SCHEER)*. Heverlee, 2013. 58 p. URL: http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/environmental_risks/docs/scher_o_168_rd_en.pdf. (Last accessed: 08.08.2023).

381. Soliman N.K., Moustafa A.F. Industrial solid waste for heavy metals adsorption features and challenges; a review. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020. Vol. 9, № 5. P. 10235–10253. DOI: [10.1016/j.jmrt.2020.07.045](https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.07.045) .

382. Song P., Li Y., Li J., Pei Y. Chlorination with lateral flushing controlling drip irrigation emitter clogging using reclaimed water. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 33, № 2. P. 80–86.

383. Srivastava V., de Araujo A. S. F., Vaish B., Bartelt-Hunt S., Singh P. et al. Biological response of using municipal solid wastecompost in agriculture as fertilizer supplement. *Rev. Environ. Sci. Biol.* 2016. Vol. 15. P. 677–696.

384. Statistical Analysis of the Productivity of Phytocoenoses of Energy Cultures due to Implementation of Wastewater Sediment on Aluvisols of Ukraine / V. Lopushniak Et al. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, № 9. P. 192–201. DOI: [10.12911/22998993/169161](https://doi.org/10.12911/22998993/169161).

385. Statistical Analysis of the Productivity of Phytocoenoses of Energy Cultures due to Implementation of Wastewater Sediment on Aluvisols of Ukrain / V. Lopushniak et all *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, № 9. P. 192–201. DOI: [10.12911/22998993/169161](https://doi.org/10.12911/22998993/169161)

386. Steele J. C., Meng X. Z., Venkatesan A. K., Halden R. U. Comparative meta-analysis of organic contaminants in sewage sludge from the United States and China. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 821. P. 153423. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.153423](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153423).

387. Steliga T., Kluk D. Assessment of the suitability of melilotus officinalis for phytoremediation of soil contaminated with petroleum hydrocarbons (TPH and PAH), Zn, Pb and Cd based on toxicological tests. *Toxics*. 2021. Vol. 9. P. 148.

388. Sterility of Miscanthus × giganteus results from hybrid incompatibility / A. Słomka et al. *Acta Biologica Cracoviensia, s. Botanica*. 2012. Vol. 54, № 1. P. 113–120. DOI: [10.2478/v10182-012-0011-1](https://doi.org/10.2478/v10182-012-0011-1)

389. Structural and electrical properties of nickel-iron spinel/reduced graphene oxide nanocomposites / V. M.Boychuk et all. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*. 2018. Vol. 73, № 1. P. 137–148.

390. Successive sewage sludge fertilization: Recycling for sustainable agriculture / C. C. Breda et all. *Waste Management*. 2020. Vol. 109. P. 38–50. DOI: [10.1016/j.wasman.2020.04.045](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.04.045)

391. Sun L. P., Yang J. Q., Niu Y. S. Overview of Electrochemical Method in the Treatment of Municipal Sewage. *Int. J. Electrochem. Sci*. 2022. Vol. 17. 220612. DOI: [10.20964/2022.06.30](https://doi.org/10.20964/2022.06.30).

392. Tagg A. S., Brandes E., Fischer F., Fischer D., Brandt J., et. all Agricultural application of microplastic-rich sewage sludge leads to further uncontrolled contamination. *Science of the Total Environment*. 2022. Vol. 806, № 4. 150611. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.150611](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150611).

393. Temperature sensitivity of soil organic matter decomposition after forest fire in Canadian permafrost region / H. Aaltonen et al. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 241. P. 637–644.

394. Temporal variability of sewage sludge heavy metal content from Greek wastewater treatment plants / Spanos T., Ene A., Patronidou C.S., Xatzixristou C. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2016. Vol. 23, № 2. P. 271–283. DOI: [10.1515/eces-2016-0019](https://doi.org/10.1515/eces-2016-0019).

395. The effect of sewage sludge and BAF inoculant on plant condition and yield as well as biochemical and microbial activity of soil in willow (*Salix viminalis* L.) culture as an energy crop / K. Panasiewicz et al. *Peer J*. 2019. № 7. 6434. DOI: [10.7717/peerj.6434](https://doi.org/10.7717/peerj.6434).

396. Trace metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety / Tóth G., Hermann T., Da Silva M.R., Montanarella L. *Environ. Pollut.* 2016. Vol. 88. P. 299–309.

397. Transformation and stabilization of heavy metals during pyrolysis of organic and inorganic-dominated sewage sludges and their mechanisms / Z. Cui et al. *Waste Management*. 2022. Vol. 150. P. 57–65.

398. Transformation of Technogenic Waste Based on Water Treatment Sludge into Granulated Fertilizer / L. I. Chelyadyn et al. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2022. Vol. 4. P. 92–101.

399. Treatment processes to eliminate potential environmental hazards and restore agronomic value of sewage sludge: A review / S. A. Hoang et al. *Environmental Pollution*. 2022. Vol. 293. P. 118564. DOI: [10.1016/j.envpol.2021.118564](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118564).

400. Tytla M. Assessment of heavy metal pollution and potential ecological risk in sewage sludge from municipal wastewater treatment plant located in the most industrialized region in Poland—Case study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. Vol. 16, № 13. 2430. DOI: [10.3390/ijerph16132430](https://doi.org/10.3390/ijerph16132430).

401. Understanding the molecular mechanisms for the enhanced phytoremediation of heavy metals through plant growth promoting rhizobacteria: A review / S. R. Manoj et al. *J. Environ. Manag.* 2020. Vol. 254. 109779. DOI: [10.1016/j.jenvman.2019.109779](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109779).

402. Van Loocke A., Twine T. E., Zeri C. J., Bernacch I. A regional comparison of water use efficiency for miscanthus, switchgrass and maize. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2012. Vol. 164. P. 82–95.

403. Velusamy S., Roy A., Sundaram S., Kumar Mallick T. A review on heavy metal ions and containing dyes removal through graphene oxide-based adsorption strategies for textile wastewater treatment. *The Chemical Record*. 2021. Vol. 21, № 7. P. 1570–1610.

404. Venkatesan A. K., Done H. Y., Halden R. U. United States National Sewage Sludge Repository at Arizona State University – a new resource and research tool for environmental scientists, engineers, and epidemiologists. *Environmental Science and Pollution Research*. 2014. Vol. 22, № 3. P. 1577–1586.

405. Volk T. A., Heavey J. P., Eisenbies M. H. Advances in shrubwillow crops for bioenergy, renewable products, and environmental benefits. *Food, Energy and Security*. 2016. Vol. 5. P. 97–106.

406. Wan-Chen L., Chih-Cheng Ch. Effectively Recycling Swine Wastewater by Coagulation–Flocculation of Nonionic Polyacrylamide. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, №3. P. 1742. DOI: [10.3390/su14031742](https://doi.org/10.3390/su14031742).

407. The Content of Heavy Metals in Plants During Cultivation on Oil-Contaminated Soils / Lopushnyak V., Polutrenko M., **Hrytsulyak H.**, Voloshin Y. *World science priorities : The I International Scientific and Practical Conference*, 15-16.12.2022. Viena, 2022. P. 5–11.

ДОДАТКИ

Додаток А

Акт про впровадження результатів наукових досліджень

«Затверджую»
Голова ПП «Степан Мельничук»
М. Червінський
« 10 » жовтня 2019 р.

«Затверджую»
Директор
Івано-Франківського коледжу ЛНАУ
к.с.г.н. Б.А. Костюк
« 10 » жовтня 2019 р.

Акт

Про впровадження результатів наукових досліджень

Замовник: ПП «Степан Мельничук» с. Турка Коломийського району Івано-Франківської області в особі голови М. Червінського.

Результати наукових досліджень за темою: «Еколого-агрохімічна оцінка застосування осаду стічних вод як добрива за вирощування фітоенергетичних культур», які виконані в Івано-Франківському коледжі ЛНАУ, запроваджені у ПП «Степан Мельничук» с. Турка Коломийського району Івано-Франківської області.

1. Вид запровадження за вирощування верби енергетичної в господарстві впроваджено оптимальну систему удобрення зі застосуванням осаду стічних вод як добрива.

2. Характеристика масштабів впровадження – у польових дослідженнях на площі 57,2 га.

3. Захищеність об'єкта впровадження патентами, промисловими зразками і товарними знаками.

Об'єкт впровадження захищений патентом України на корисну модель: 127570 Україна МПК (2006) AO1B 79/00, AD1C 21/00. Спосіб вирощування верби енергетичної.

4. Новизна результатів науково-дослідної роботи. На основі даних агрохімічних аналізів ґрунту, рівня запланованої продуктивності біомаси, доступних обсягів осаду стічних вод та компостів на їх основі, розроблені норми повторного внесення осаду стічних вод під вербу енергетичну. Це забезпечило підвищення продуктивності верби енергетичної та збільшення врожайності вегетативної маси верби енергетичної на 30,2 – 45,7 т/га порівняно з системою удобрення, яка прийнята у господарстві, а також покращання агрохімічних показників дерново-підзолистого ґрунту.

5. Щорічний економічний ефект – 11 тис. грн/га у цінах 2019 року.

6. Соціальний і науково-технічний ефект – підвищення рівня зайнятості сільського населення, зростання продуктивності праці і окупності затрат на виробництво, сповільнення агрохімічної та агрофізичної деградації ґрунтового покриву.

Від ПП «Степан Мельничук»
Головний агроном

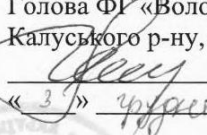
« 10 » жовтня 2019 р.

Від Івано-Франківського коледжу ЛНАУ
відповідальний за впровадження

Г.М. Грицуляк Г.М. Грицуляк

« 10 » жовтня 2019 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Голова ФГ «Володимир»
Калуського р-ну, Івано-Франківської обл.
 І. В. Микитин
« 3 » травня 2019 р.

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор Івано-Франківського коледжу
ЛНАУ,
к. с.-г. н.  Б. А. Костюк
« 3 » травня 2019 р.

Акт

Про впровадження результатів наукових досліджень

Замовник: Фермерське господарство «Володимир» Калуського р-ну, Івано-Франківської обл.

Результати наукових досліджень за темою: «Еколого-агрохімічна оцінка застосування осаду стічних вод як добрива за вирощування фітоенергетичних культур», які виконані на території колекційно-дослідного поля Івано-Франківського коледжу ЛНАУ в с. Чукалівка Тисменицького району, запроваджені у ФГ «Володимир» Калуського р-ну, Івано-Франківської обл. впродовж 2017 – 2019 років.

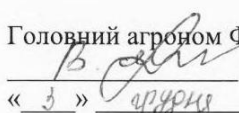
1. Вид запровадження: за вирощування міскантуса в господарстві впроваджено оптимальну систему удобрення зі застосуванням осаду стічних вод як добрива.

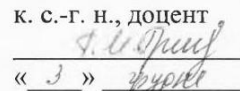
2. Характеристика масштабів впровадження – у польових дослідженнях на площі 21,8 га.

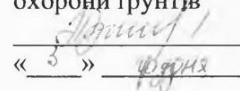
3. Новизна результатів науково-дослідної роботи. На основі даних агрохімічних аналізів ґрунту, рівня запланованої продуктивності біомаси, доступних обсягів осаду стічних вод та компостів на їх основі, розроблені норми внесення осаду стічних вод під енергетичну культуру міскантус. Це забезпечило підвищення продуктивності та збільшення врожайності біомаси на 6,7 – 8,1 т/га порівняно зі системою удобрення, яка прийнята у господарстві, а також покращання вмісту рухомих форм основних елементів живлення у дерново-підзолистих ґрунтах.

4. Щорічний економічний ефект – 9,8 – 10,2 тис. грн/га у цінах 2019 року.

5. Соціальний і науково-технічний ефект – підвищення рівня зайнятості сільського населення, введення в господарський обіг занедбаних земель, мінімізація обробітку ґрунту, поліпшення агрофізичних та агрохімічних властивостей дерново-підзолистих ґрунтів.

Головний агроном ФГ «Володимир»
 В. І. Микитин
« 3 » травня 2019 р.

Від Івано-Франківського коледжу ЛНАУ
відповідальний за впровадження
к. с.-г. н., доцент
 Г. М. Грицуляк
« 3 » травня 2019 р.

Від ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського» відповідальний за
впровадження д. с.-г. н., професор,
головний науковий співробітник відділу
охорони ґрунтів
 В. І. Лопушняк
« 3 » травня 2019 р.

Додаток Б
Довідки та сертифікат



Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський коледж
Львівського національного аграрного університету
76492 м. Івано-Франківськ, вул. Юності, 11 тел.55-47-14, факс 55-47-05
E-mail: agrakcol@ukr.net

27.11.2019 р. №01/5-302

ДОВІДКА

Видана Грицуляк Галині Михайлівні про те, що результати дисертаційного дослідження на тему: «Еколого-агрохімічна оцінка застосування осаду стічних вод як добрива за вирощування фітоенергетичних культур», підготовленої на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 06.01.04 – агрохімія, були використані в навчальному процесі під час викладання навчальних дисциплін «Агрохімія», «Геохімія довкілля» та «Хімія з основами біогеохімії» для студентів II – IV - го курсів спеціальності 101 «Екологія» (спеціалізація: «Прикладна екологія»). Зокрема, під час підготовки лекційних курсів та методичних рекомендацій до проведення лабораторно-практичних занять, а також написанні навчального посібника «Агрохімія» для студентів 201 «Агрономія» (спеціалізація: «Організація і технологія ведення фермерського господарства»). Результати досліджень неодноразово були представлені на науково-практичних конференціях, семінарах та форумах з нагоди «Дня поля» в Івано-Франківському коледжі ЛНАУ.

Довідку видано у спеціалізовану вчену раду зі захисту дисертацій ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського».

Директор коледжу
кандидат с-г наук



Б.А.Костюк



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, тел./факс (0342) 54-71-39, тел. (0342) 54-72-66
E-mail: admin@iung.edu.ua, код ЄДРПОУ 02070855

Про захист дисертації

Ректору Дніпровського державного
аграрно-економічного університету
проф. Кобцю А. С.
49000, м. Дніпро
вул. Сергія Єфремова, 25

ДОВІДКА

Видана Грицуляк Галині Михайлівні про те, що результати дисертаційного дослідження на тему: «Еколого-агрохімічна оцінка застосування осаду стічних вод як добрива за вирощування фітоенергетичних культур», підготовленої на здобуття наукового ступеня доктора сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія» (сільськогосподарські науки), були використані в навчальному процесі під час викладання вибіркових дисциплін «Рекультивация земель», «Енергетичні культури в альтернативній енергетиці» для здобувачів першого рівня вищої освіти (бакалавр) ІФНТУНГ спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища», зокрема, під час підготовки лекційних курсів та методичних рекомендацій до проведення лабораторно-практичних занять.

Результати досліджень неодноразово були представлені на науково-практичних конференціях, семінарах та розміщені у журналах наукометричної бази даних (Scopus i Web of Science).

Довідку видано у спеціалізовану вчену раду зі захисту дисертацій
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Проректор з науково-педагогічної роботи



Сергій ЗІКРАТИЙ



ІННОВАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВСЕУКРАЇНСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ

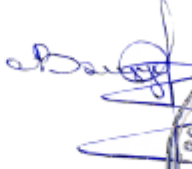
01032, Україна, м. Київ, вул. Саксаганського, 112 б, оф. 22, код ЄДРПОУ 43177204, info@inun.org.ua
<https://inun.org.ua>

Вих. № 01/1223 від 11.12.2023 р.

Довідка

Видана Грицуляк Галині Михайлівні про те, що вона є виконавцем (експертом) у проєкті ««Відродження естетико-екологічних функцій малих водотоків р. Млинівки (Стебницької) та р. Радчанки на території Івано-Франківської МОТГ»», що реалізується громадською організацією «Інноваційний університет» за підтримки Федерального міністерства економіки та кліматичних дій Німеччини в рамках проєкту Міжнародної Кліматичної Ініціативи (ІКІ) «Посилення громадянського суспільства в реалізації національної кліматичної політики» відповідно до договору на фіксовану суму № _21/23 від 21 липня 2023 року.

Голова
ВГО «Інноваційний університет»

  О.П. Вашук

Додаток В.1

Патенти на корисну модель



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **127570** (13) **U**
 (51) МПК (2018.01)
A01B 79/00
A01C 21/00

МІНІСТЕРСТВО
 ЕКОНОМІЧНОГО
 РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2018 02371	(72) Винахідник(и): Лопушняк Василь Іванович (UA),
(22) Дата подання заявки: 12.03.2018	Грицуляк Галина Михайлівна (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2018	(73) Власник(и): ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2018, Бюл.№ 15	АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський р-н, Львівська обл., 80381 (UA)

(54) СПОСІБ ВИРОЩУВАННЯ ВЕРБИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ**(57) Реферат:**

Спосіб вирощування енергетичної верби, що включає підготовку ґрунту, удобрення, садіння саджанців, догляд за плантаціями, зрізування та збирання пагонів, причому підготовку ґрунту проводять рано навесні, яка включає заробляння дисковою бороною осаду стічних вод та оранку, передсадивний обробіток ґрунту проводять на глибину 14-16 см і садіння саджанців зі схемою садіння між рослинами в рядку 0,33 м, між рядками 0,70 м та з шириною міжрядь 1,0 м через кожні 7 рядків, органічні добрива (осад стічних вод) вносять у перший рік вирощування в ґрунт під заробляння дисковою бороною в нормі 60 т/га, після зрізування верби (через кожні 3 роки) вносять позакоренево в міжряддя органічне добриво (осад стічних вод) у нормі 20 т/га, зрізування та збирання пагонів верби енергетичної проводять одразу після перших заморозків, а після 21 року вирощування проводять рекультивацію площі під плантацією верби енергетичної.

UA 127570 U

Додаток В.2

Патенти на корисну модель



Додаток В.3

Патенти на корисну модель



Додаток В.4

Патенти на корисну модель



Додаток В.5

Патенти на корисну модель



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **143791** (13) **U**
 (51) МПК (2020.01)
 D21C 3/00

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ
 ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА
 СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
 УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 01650 (22) Дата подання заявки: 10.03.2020 (24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.08.2020 (46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.08.2020, Бюл.№ 15	(72) Винахідник(и): Полутренко Мирослава Степанівна (UA), Грицуляк Галина Михайлівна (UA), Коцюбинський Андрій Олегович (UA), Сав'юк Роман Михайлович (UA) (73) Власник(и): ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019 (UA)

(54) СПОСІБ ПЕРЕРОБЛЕННЯ НАЗЕМНОЇ ЧАСТИНИ СИЛЬФІЇ ПРОНИЗАНОЛИСТОЇ**(57) Реферат:**

Спосіб перероблення наземної частини сильфії пронизанолистої включає введення у варильний апарат подрібненої недревної рослинної сировини і варильного розчину з подальшим варінням січки за заданих режимів. Варіння січки проводять варильним розчином, активним реагентом якого є етанова кислота, пероксид водню та натрію гідроксид, в температурному інтервалі 90-100 °С, протягом певного часу до отримання волокнистого напівфабрикату.

UA 143791 U

Додаток Г Паразитологічні дослідження

ДУ "Івано-Франківський ОЛЦ ДСЕСУ"
Паразитологічна лабораторія

РЕЗУЛЬТАТ № 14 Паразитологічного дослідження ґрунту

Назва об'єкту компости

Місце відбору корекційно-дослідне поле

Результат дослідження: не виявлено

Дата надходження матеріалу в лабораторію ".01."..02.... 2017.р.

Дата видачі ".01."..02.... 2017.р.

Прізвище, підпис лікаря Лоб. з мікробіології Балайда А.А.

ДУ "Івано-Франківський ОЛЦ ДСЕСУ"
Паразитологічна лабораторія

РЕЗУЛЬТАТ № 4 Паразитологічного дослідження ґрунту

Назва об'єкту осад стічних вод

Місце відбору Жане - Франківська вулиця, с.Техпрам

Результат дослідження: не виявлено

Дата надходження матеріалу в лабораторію ".01."..02.... 2017.р.

Дата видачі ".01."..02.... 2017.р.

Прізвище, підпис лікаря Лоб. з мікробіології Балайда А.А.

Додаток Г
Кліматичні умови за роки проведення досліджень
таблиці та малюнки

Додаток

**Динаміка середньої температури за декадами в роки проведення досліджень
(за даними Івано-Франківського обласного центру гідрометеорології)**

Роки досліджень	Декади	Температурний режим за місяцями в роки проведення досліджень, °C											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2019	I	-5,6	1,9	-5,4	8,0	9,4	19,9	17,4	18,7	16,2	12,9	2,1	1,6
	II	2,1	-4,8	4,3	7,7	14,4	17,8	22,8	18,7	17,6	5,2	1,8	1,3
	III	-3,4	- 6,7	-5,7	12,4	17,9	17,0	18,8	19,9	13,8	3,8	0,3	1,0
	сер. місячна	-3,4	3,7	4,8	10,8	14,0	19,1	20,0	18,6	16,3	6,7	1,2	-0,2
2020	I	1,2	-18,4	-0,7	6,1	17,2	17,2	24,1	20,9	16,3	12,7	1,3	-4,3
	II	-1,5	-10,0	5,6	9,3	12,8	20,2	19,2	16,3	14,9	9,0	1,0	-6,6
	III	-8,4	-0,1	8,2	15,1	16,2	19,4	20,7	20,1	14,2	6,2	1,6	-5,3
	сер. місячна	-5,7	-0,7	6,6	8,8	13,7	18,5	19,2	20,0	14,0	9,8	3,4	1,8
2021	I	-1	0,5	1,6	6,2	19,1	16,6	19,5	22,0	17,6	10,1	4,3	-0,3
	II	-3,4	-2,2	-1,1	10,1	14,6	20,5	17,8	18,9	10,0	7,4	2,1	0,2
	III	-8,2	0,2	-3,3	12,8	13,4	19,5	20,7	15,8	10,4	11,6	-3,3	-0,8
	сер. місячна	-1,0	-3,4	-0,7	13,9	16,5	18,5	19,7	20,2	15,1	9,7	2,4	-1,0
2022	I	1	-6,3	3,6	6,9	16,6	15,9	18,7	20,1	16,0	11,6	2,4	1,1
	II	1,0	1,8	6,6	9,0	13,9	20,4	19,1	17,9	17,1	6,3	1,8	0,2
	III	-9,8	1,7	4,2	13,1	15,7	16,7	18,9	18,4	14,2	9,0	0,2	1,0
	сер. місячна	-3,3	-1,2	4,8	9,7	15,4	17,7	18,9	18,8	15,8	9,0	1,5	0,8
Середня багаторічна		-3	4,8	2,3	9,8	15,1	18,4	19,8	19,0	14,9	8,8	2,0	-4,2

**Динаміка опадів за декадами в роки проведення досліджень
(за даними Івано-Франківського обласного центру гідрометеорології)**

Роки досліджень	Декади місяця	Кількість опадів за місяці вегетації, мм												Сума за рік
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2019	I	0,4	0,3	3	17	28	21	27	42	11	3	0	10	
	II	25	13	12	12	7	9	1	18	5	9	1,0	2	
	III	3	18	6	73,5	8	49	52	0,3	0,4	13	2	9	
	сума, мм	29,0	24,0	36,8	73,5	97,0	125	60,3	37,7	34,4	126,2	55,8	97,0	440,4
2020	I	6	12	4	8	7	62	32	51	16	33	11	12	
	II	16	11	8	25	25	27	13	36	28	9	6	20	
	III	21	14	5	8	46	6	57	25	24	13	18	26	
	сума, мм	8,1	24,4	48,8	31,2	84,0	75,6	82,5	50,9	171,9	50,7	43,6	47,6	732
2021	I	16	15	17	15	7	51	0	0	8	0	1,0	8	
	II	10	7	44	31	41	8	24	11	36	5	6	0,6	
	III	11	8	38	6	20	28	13	45	31	6	29	0,3	
	сума, мм	38,6	47,3	52	19,6	44,7	138,6	93,1	29,2	42,1	22,2	39,0	70,6	579,9
2022	I	2,7	3	14	7	8	52	0	3	3	6	4	9	
	II	11	18	26	29	22	8	17	18	11	11	12	6	
	III	22,2	12	9	5	29	14	11	33	28	6	1	15	
	сума, мм	35,9	33	49	41	59	74	28	54	42	23	17	30	561,6
Середнє		36	32,8	46,5	44	61,8	83,5	61,8	70,6	50,4	28,5	16,25	29,5	
Багаторічна норма		34,7	39,7	22,0	47,5	59,4	72,3	95,4	70,2	52,8	38,0	40,5	43,0	
Відхилення від норми		1,3	-6,9	24,5	-3,5	2,4	11,2	-33,6	0,4	-2,4	-9,5	-24,25	-13,5	

Додаток

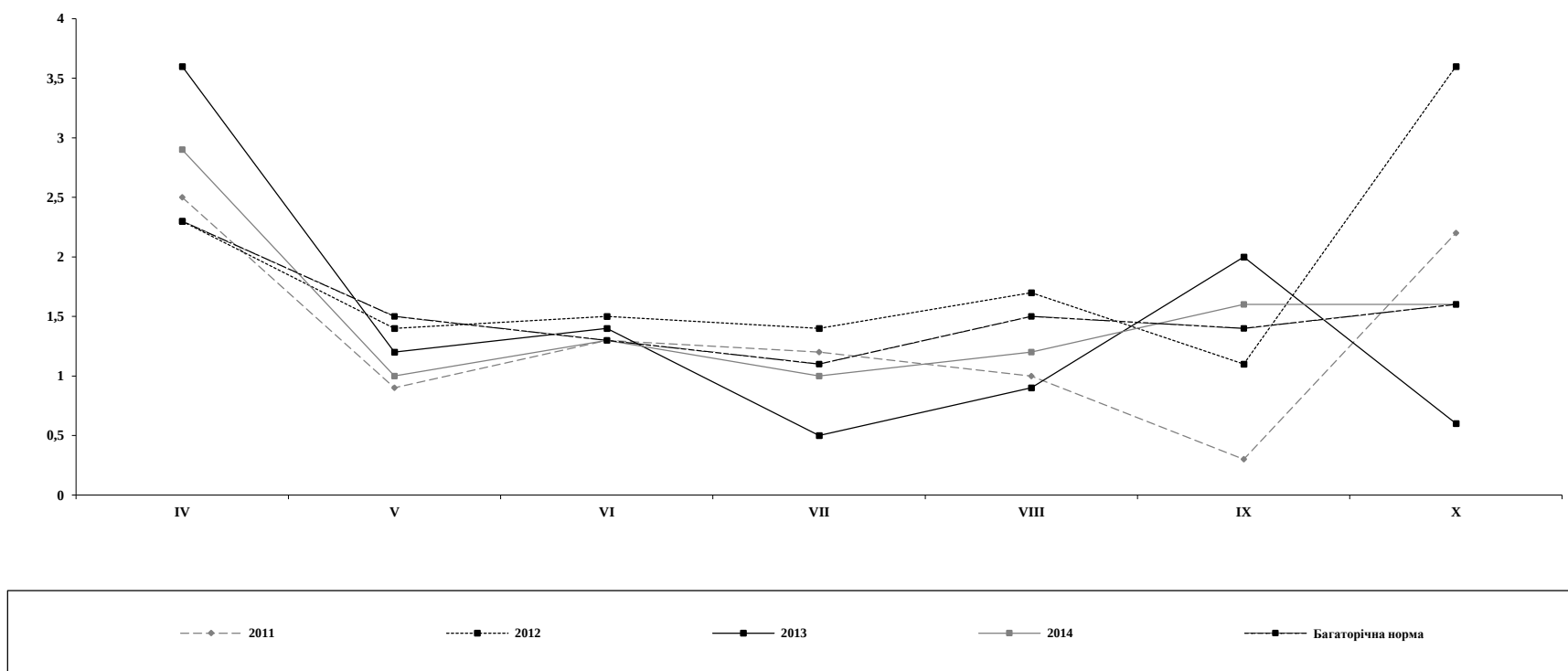


Рис. Г.3. Величина гідротермічного коефіцієнта (ГТК) за 2019 – 2022 рр.

Додаток Д

Структурно-агрегатний стан ґрунту дослідних ділянок

Таблиця Д.1

**Структурно-агрегатний стан ґрунту на І дослідній ділянці дослідження, під час вирощування верби
енергетичної, (середнє за 2019 – 2022 роки)**

Варіант	Глибина, см	Розмір фракцій, мм								Σ макроагрегати в 0,25-10 мм	Коефіцієнт структурності
		>10	10 – 7	7 – 5	5 – 3	3 – 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	<0,25		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Без добрив (контроль)	0 – 20	0,41	0,76	7,11	10,84	9,79	16,24	14,02	39,93	59,66	1,47
	20 – 40	0,39	0,80	7,09	10,69	16,41	14,31	16,20	34,11	65,50	1,89
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0 – 20	0,45	0,81	6,80	11,44	12,49	14,50	14,31	38,80	60,75	1,54
	20 – 40	0,47	0,87	6,56	11,39	13,23	15,39	13,93	38,16	61,37	1,58
ОСВ – 40 т/га	0 – 20	0,36	0,77	6,92	12,98	15,01	14,91	14,15	34,90	64,74	1,83
	20 – 40	0,39	0,79	6,80	12,65	12,27	15,30	14,87	36,93	62,68	1,37
ОСВ – 60 т/га	0 – 20	0,35	0,70	7,48	11,90	15,99	15,15	14,26	34,87	64,78	1,84
	20 – 40	0,39	0,75	6,34	10,72	15,62	12,41	14,49	39,28	60,33	1,52
ОСВ – 80 т/га	0 – 20	0,35	0,72	6,40	12,40	16,12	14,62	15,02	34,37	65,28	1,88
	20 – 40	0,38	0,78	6,33	12,01	15,45	12,37	14,89	37,79	61,83	1,61
Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	0,32	0,68	6,60	12,71	14,78	11,78	19,87	33,26	66,42	1,97
	20 – 40	0,34	0,60	6,51	11,32	14,60	11,10	12,90	42,63	57,03	1,32

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 – 20	1,45	1,80	5,25	11,91	13,57	14,89	13,19	37,94	60,61	1,54
	20 – 40	1,46	1,64	5,48	10,44	13,32	13,34	12,34	41,98	56,56	1,30
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 – 20	1,55	1,65	5,07	11,91	13,81	14,42	16,10	35,49	62,96	1,70
	20 – 40	1,71	1,78	3,90	10,26	13,36	13,40	15,29	40,30	57,99	1,38
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	1,64	1,69	4,86	10,29	13,94	12,25	11,73	43,60	57,76	1,21
	20 – 40	1,75	1,86	3,65	10,54	13,30	13,42	13,36	42,12	56,13	1,28
Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0 – 20	0,31	0,72	6,58	11,46	14,69	14,80	12,50	38,94	60,75	1,54
	20 – 40	0,34	0,74	6,45	10,34	14,52	15,19	12,15	40,27	59,39	1,46
НІР _{0,05}	0 – 20	0,02	0,09	0,70	0,22	0,24	0,34	0,35	0,14	0,54	0,48
	20 – 40	0,04	0,1	0,53	0,15	0,15	0,01	0,40	0,71	0,95	0,37

Додаток

**Структурно-агрегатний стан ґрунту на II дослідній ділянці дослідження, під час вирощування сільфії
пронизанолистої, (середнє за 2019 – 2022 роки)**

Варіант	Глибина, см	Розмір фракцій, мм								Σ макроагре- гатів 0,25- 10 мм	Коефіцієнт структурн
		>10	10 – 7	7 – 5	5 – 3	3 – 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	<0,25		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Без добрив (контроль)	0 – 20	1,33	1,85	3,75	10,47	10,27	14,23	12,74	45,36	53,31	1,14
	20 – 40	1,37	1,84	4,23	10,16	12,62	12,38	13,51	43,89	54,74	1,21
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	1,40	1,93	4,87	9,58	13,62	13,49	12,35	42,76	55,84	1,26
	20 – 40	1,35	1,95	5,04	10,39	14,46	12,44	11,42	42,95	55,70	1,26
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	1,45	1,98	5,02	9,52	13,56	15,54	13,27	39,66	58,89	1,43
	20 – 40	1,41	1,93	5,16	11,23	14,14	10,52	14,07	41,54	57,05	1,33
4. ОСВ – 20 т/Га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	1,17	1,90	5,06	12,61	11,27	11,24	15,49	41,26	57,57	1,36
	20 – 40	1,10	1,85	5,25	10,76	12,51	10,62	16,37	41,54	57,36	1,35
5. ОСВ – 30 т/Га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	1,43	1,79	5,16	11,42	14,16	10,55	16,81	32,68	59,89	1,76
	20 – 40	1,31	1,65	5,31	11,16	12,61	9,87	12,59	45,50	53,19	1,14
6. ОСВ – 40 т/Га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	1,45	1,80	5,25	11,91	13,57	14,89	13,19	37,94	60,61	1,54
	20 – 40	1,46	1,64	5,48	10,44	13,32	13,34	12,34	41,98	56,56	1,30

Продовження таблиці Д.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	1,55	1,65	5,07	11,91	13,81	14,42	16,10	35,49	62,96	1,70
	20 – 40	1,71	1,78	3,90	10,26	13,36	13,40	15,29	40,30	57,99	1,38
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 – 20	1,64	1,69	4,86	10,29	13,94	12,25	11,73	43,60	57,76	1,21
	20 – 40	1,75	1,86	3,65	10,54	13,30	13,42	13,36	42,12	56,13	1,28
НІР _{0,05}	0 – 20	0,01	0,04	0,05	0,02	0,04	0,02	0,05	0,04	0,04	0,02
	20 – 40	0,01	0,09	0,03	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05	0,01

Додаток

**Структурно-агрегатний стан ґрунту на II дослідній ділянці дослідження, під час вирощування міскантуса,
(середнє за 2019 – 2022 роки)**

Варіант	Глибина, см	Розмір фракцій, мм								Σ макроагрегати в 0,25-10 мм	Коефіцієнт структурності
		>10	10 – 7	7 – 5	5 – 3	3 – 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	<0,25		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Без добрив (контроль)	0 – 20	1,28	1,80	3,70	10,41	10,22	14,18	12,69	45,72	53,00	1
	20 – 40	1,32	1,79	4,18	10,11	12,56	12,42	13,46	44,16	54,52	1
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	1,35	1,88	4,82	9,55	13,57	13,55	12,30	42,98	55,67	1,26
	20 – 40	1,30	1,90	4,99	10,34	14,41	12,40	11,37	44,59	55,41	1,21
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	1,40	1,92	4,97	9,46	13,50	15,50	13,22	40,38	58,22	1,39
	20 – 40	1,36	1,99	5,11	11,18	14,11	10,48	14,02	41,75	56,89	1,32
4. ОСВ – 20 т/Га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	1,12	1,85	4,97	12,51	11,22	11,20	15,44	41,69	57,19	1,36
	20 – 40	1,05	1,80	5,20	10,66	12,46	10,57	16,32	41,94	57,01	1,33
5. ОСВ – 30 т/Га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	1,38	1,78	5,11	11,37	14,11	10,54	16,76	38,95	59,67	1,48
	20 – 40	1,26	1,60	5,25	11,11	12,55	9,80	12,54	43,89	52,85	1,17
6. ОСВ – 40 т/Га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	1,40	1,75	5,20	11,88	13,52	14,84	13,14	38,27	60,33	1,52
	20 – 40	1,41	1,59	5,43	10,39	13,28	13,30	12,29	42,31	56,28	1,29

Продовження таблиці Д.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	1,50	1,60	4,97	11,96	13,77	14,37	16,05	35,78	62,72	1,68
	20 – 40	1,66	1,73	3,85	10,25	13,31	13,35	15,24	40,61	57,73	1,37
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 – 20	1,59	1,64	4,81	11,52	13,89	12,20	11,68	42,67	55,74	1,26
	20 – 40	1,70	1,81	3,60	10,86	13,25	13,37	13,31	42,10	56,20	1,28
НІР _{0,05}	0 – 20	0,01	0,04	0,05	0,02	0,04	0,02	0,05	0,04	0,04	0,02
	20 – 40	0,01	0,09	0,03	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05	0,01

Додаток

**Структурно-агрегатний стан ґрунту на II дослідній ділянці дослідження, за вирощування свічґраса,
(середнє за 2019 – 2022 роки)**

Варіант	Глибина, см	Розмір фракцій, мм								Σ макроагрегати в 0,25-10 мм	Коефіцієнт структурності
		>10	10 – 7	7 – 5	5 – 3	3 – 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	<0,25		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Без добрив (контроль)	0 – 20	1,08	1,60	3,50	10,31	10,12	13,98	12,64	46,77	52,18	1,09
	20 – 40	1,12	1,59	3,98	10,01	12,46	12,22	13,41	45,21	53,67	1,16
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	1,15	1,68	4,62	9,45	13,47	13,35	12,25	44,03	54,82	1,21
	20 – 40	1,10	1,70	4,86	10,20	14,31	12,20	11,32	44,31	54,9	1,21
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	1,20	1,72	4,87	9,56	13,40	15,30	13,17	40,78	58,02	1,38
	20 – 40	1,16	1,80	5,01	11,08	13,91	10,28	13,97	42,79	56,05	1,28
4. ОСВ – 20 т/Га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	0,92	1,65	4,90	12,41	11,00	11,00	15,39	42,73	56,35	1,29
	20 – 40	0,85	1,60	5,10	10,56	12,26	10,37	16,27	42,99	56,16	1,28
5. ОСВ – 30 т/Га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	1,18	1,58	5,01	11,27	13,01	10,34	16,71	40,90	57,92	1,38
	20 – 40	1,06	1,40	5,15	11,01	11,45	9,60	12,49	47,84	51,10	1,05
6. ОСВ – 40 т/Га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	1,20	1,55	5,10	11,78	12,42	14,64	13,09	40,22	58,58	1,41
	20 – 40	1,11	1,39	5,33	10,29	12,18	13,10	12,24	44,36	54,53	1,20

Продовження таблиці Д.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	1,30	1,40	4,90	11,86	12,67	14,17	16,00	37,70	61,00	1,56
	20 – 40	1,46	1,53	3,75	10,15	12,21	13,35	15,19	42,36	56,18	1,28
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 – 20	1,39	1,54	4,81	11,42	12,79	12,00	11,62	44,43	54,18	1,18
	20 – 40	1,50	1,61	3,60	10,76	12,15	13,37	13,26	43,75	54,75	1,21
НІР _{0,05}	0 – 20	0,01	0,04	0,05	0,02	0,04	0,02	0,05	0,04	0,04	0,02
	20 – 40	0,01	0,09	0,03	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05	0,01

Додаток

**Структурно-агрегатний стан ґрунту на II дослідній ділянці дослідження, за вирощування топінамбура,
(середнє за 2019-2022 роки)**

Варіант	Глибина, см	Розмір фракцій, мм								Σ макроагрегати в 0,25-10 мм	Коефіцієнт структурності
		>10	10 – 7	7 – 5	5 – 3	3 – 1	1 – 0,5	0,5 – 0,25	<0,25		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Без добрив (контроль)	0 – 20	1,18	1,70	3,60	10,31	10,12	14,08	12,74	46,27	52,55	1,11
	20 – 40	1,22	1,69	4,08	10,01	12,46	12,32	13,51	44,71	54,07	1,18
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	1,25	1,78	4,72	9,45	13,47	13,45	12,35	43,54	55,22	1,23
	20 – 40	1,20	1,80	4,96	10,24	14,31	12,30	11,42	43,77	55,03	1,22
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	1,30	1,82	4,87	9,56	13,40	15,40	13,27	40,32	58,32	1,40
	20 – 40	1,26	1,90	5,01	11,08	14,01	10,38	14,07	42,29	56,45	1,30
4. ОСВ – 20 т/Га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	1,02	1,75	4,90	12,41	11,12	11,10	15,49	42,21	56,77	1,31
	20 – 40	0,95	1,70	5,10	10,56	12,36	10,47	16,37	43,49	56,56	1,27
5. ОСВ – 30 т/Га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	1,28	1,68	5,01	11,27	14,01	10,44	16,81	39,50	59,22	1,45
	20 – 40	1,16	1,50	5,15	11,01	12,45	9,70	12,59	46,80	52,40	1,09
6. ОСВ – 40 т/Га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	1,30	1,65	5,10	11,78	13,42	14,74	13,19	38,82	59,88	1,49
	20 – 40	1,21	1,49	5,33	10,29	13,18	13,20	12,34	42,60	55,83	1,28

Продовження таблиці Д.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	1,40	1,50	4,90	11,86	13,67	14,27	16,10	36,57	62,30	1,64
	20 – 40	1,56	1,63	3,75	10,15	13,21	13,45	15,29	40,86	57,48	1,36
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 – 20	1,49	1,54	4,81	11,42	13,79	12,10	11,72	43,13	55,38	1,24
	20 – 40	1,60	1,71	3,60	10,76	13,15	13,47	13,36	42,35	56,05	1,28
НІР _{0,05}	0 – 20	0,01	0,04	0,05	0,02	0,04	0,02	0,05	0,04	0,04	0,02
	20 – 40	0,01	0,09	0,03	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,05	0,01

Додаток Е

Гранулометричний і мікроагрегатний склад ґрунту дослідних ділянок

Таблиця Е.1

Гранулометричний і мікроагрегатний склад у шарі (0 - 20 см) ґрунту за вирощування верби енергетичної

Варіант	Вміст гранулометричних фракцій							К	Кс
	1- 0,25 мм	0,25- 0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01 – 0,005 мм	0,005 – 0,001 мм	<0,001 мм	∑ фракцій < 0,01 мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Без добрив – контроль	<u>7,54</u> 2,34	<u>35,54</u> 44,59	<u>41,14</u> 43,17	<u>4,36</u> 2,19	<u>2,91</u> 3,20	<u>8,51</u> 4,51	<u>15,78</u> 9,90	53,0	47,0
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	<u>6,54</u> 3,07	<u>46,56</u> 42,26	<u>28,00</u> 44,59	<u>5,08</u> 3,13	<u>6,01</u> 2,79	<u>7,81</u> 3,96	<u>18,9</u> 9,88	50,7	49,3
3. ОСВ – 40 т/га	<u>6,75</u> 3,28	<u>44,12</u> 41,68	<u>30,13</u> 44,23	<u>5,02</u> 3,43	<u>6,70</u> 3,40	<u>7,73</u> 4,00	<u>19,0</u> 10,83	51,7	48,3
4. ОСВ – 60 т/га	<u>3,98</u> 3,94	<u>30,78</u> 39,57	<u>46,20</u> 46,48	<u>6,20</u> 3,40	<u>7,98</u> 2,74	<u>6,06</u> 3,87	<u>21,44</u> 10,01	53,0	47,1
5. ОСВ – 80 т/га	<u>3,33</u> 4,76	<u>25,14</u> 32,03	<u>48,75</u> 52,79	<u>5,76</u> 2,62	<u>8,24</u> 3,91	<u>8,78</u> 3,69	<u>22,78</u> 10,22	42,1	57,9
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	<u>3,81</u> 4,20	<u>27,30</u> 37,50	<u>44,38</u> 48,02	<u>6,12</u> 3,21	<u>9,04</u> 3,39	<u>9,35</u> 3,68	<u>24,51</u> 10,28	39,4	60,6
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	<u>3,74</u> 4,42	<u>26,12</u> 37,85	<u>47,30</u> 46,60	<u>6,26</u> 2,92	<u>8,12</u> 4,14	<u>8,46</u> 4,07	<u>22,84</u> 11,13	48,1	52,0
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	<u>1,90</u> 4,56	<u>34,64</u> 38,29	<u>38,70</u> 46,13	<u>6,69</u> 3,11	<u>10,27</u> 3,91	<u>7,80</u> 4,00	<u>23,73</u> 11,02	51,3	48,7

продовження таблиці Е.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	<u>7,54</u> 2,34	<u>35,54</u> 44,59	<u>41,14</u> 43,17	<u>4,36</u> 2,19	<u>2,91</u> 3,20	<u>8,51</u> 4,51	<u>15,78</u> 9,90	53,0	47,0
10.Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	<u>6,54</u> 3,07	<u>46,56</u> 42,26	<u>28,00</u> 44,59	<u>5,08</u> 3,13	<u>6,01</u> 2,79	<u>7,81</u> 3,96	<u>18,9</u> 9,88	50,7	49,3

Додаток

Гранулометричний і мікроагрегатний склад у шарі (0 - 20 см) ґрунту за вирощування міскантуса

Варіант	Вміст гранулометричних фракцій							К	Кс
	1- 0,25 мм	0,25- 0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01 – 0,005 мм	0,005 – 0,001 мм	<0,001 мм	∑ фракцій < 0,01 мм		
1. Без добрив (контроль)	<u>7,24</u> 3,14	<u>35,74</u> 44,69	<u>41,34</u> 44,17	<u>4,76</u> 1,88	<u>3,21</u> 2,40	<u>8,71</u> 4,72	<u>16,08</u> 8,0	54,2	45,9
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	<u>6,24</u> <u>3,57</u>	<u>46,76</u> <u>42,56</u>	<u>28,2</u> <u>44,59</u>	<u>4,88</u> <u>2,83</u>	<u>6,31</u> <u>1,99</u>	<u>8,01</u> <u>4,16</u>	<u>19,2</u> <u>7,98</u>	52,0	48,1
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	<u>6,45</u> 4,06	<u>44,32</u> 41,78	<u>30,33</u> 45,23	<u>4,84</u> 2,98	<u>7,03</u> 2,44	<u>7,46</u> 3,51	<u>19,35</u> 8,93	47,0	52,9
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	<u>3,68</u> 4,74	<u>30,98</u> 39,67	<u>45,2</u> 47,48	<u>6,00</u> 2,90	<u>8,28</u> 1,89	<u>6,26</u> 3,32	<u>20,54</u> 8,11	53,6	47,0
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	<u>3,03</u> 5,56	<u>25,34</u> 32,33	<u>48,95</u> 52,79	<u>5,56</u> 2,32	<u>8,54</u> 3,11	<u>8,98</u> 3,89	<u>23,08</u> 9,32	43,3	56,7
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	<u>3,51</u> 5,00	<u>27,95</u> 36,60	<u>44,58</u> 48,02	<u>5,92</u> 2,91	<u>9,34</u> 3,51	<u>9,10</u> 3,96	<u>24,81</u> 10,38	44,2	56,5
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	<u>3,74</u> 5,22	<u>26,32</u> 37,95	<u>47,50</u> 47,60	<u>6,06</u> 2,62	<u>8,42</u> 3,34	<u>8,66</u> 3,27	<u>23,14</u> 9,23	37,7	62,2
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	<u>1,6</u> 5,36	<u>34,84</u> 38,39	<u>38,90</u> 47,13	<u>5,99</u> 2,70	<u>10,57</u> 3,11	<u>7,50</u> 3,31	<u>23,36</u> 9,12	44,1	55,9

Додаток

Гранулометричний і мікроагрегатний склад у шарі (0 - 20 см) ґрунту за свічграсу, середнє за 2016 – 2022 роки

Варіант	Вміст гранулометричних фракцій							К	Кс
	1- 0,25 мм	0,25- 0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01 – 0,005 мм	0,005 – 0,001 мм	<0,001 мм	∑ фракцій < 0,01 мм		
1. Без добрив (контроль)	<u>7,24</u> 2,94	<u>35,24</u> 45,19	<u>40,94</u> 42,47	<u>4,56</u> 1,89	<u>3,21</u> 2,60	<u>8,8</u> 4,91	<u>16,58</u> 9,4	55,8	44,2
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	<u>6,24</u> <u>3,67</u>	<u>46,26</u> <u>43,06</u>	<u>27,80</u> <u>43,89</u>	<u>5,28</u> <u>2,83</u>	<u>6,31</u> <u>2,19</u>	<u>8,11</u> <u>4,36</u>	<u>19,7</u> <u>9,38</u>	53,8	46,2
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	<u>6,45</u> 3,86	<u>43,82</u> 42,28	<u>29,93</u> 44,53	<u>5,24</u> 2,98	<u>7,03</u> 2,64	<u>7,53</u> 3,71	<u>19,8</u> 9,33	49,3	50,7
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	<u>3,68</u> 4,54	<u>30,48</u> 40,17	<u>44,80</u> 46,78	<u>6,40</u> 2,90	<u>8,28</u> 2,09	<u>6,36</u> 3,52	<u>21,04</u> 8,51	55,3	44,7
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	<u>3,03</u> 5,36	<u>26,84</u> 32,83	<u>48,55</u> 53,09	<u>5,96</u> 2,32	<u>8,54</u> 3,31	<u>7,08</u> 3,09	<u>21,58</u> 8,72	43,6	56,4
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	<u>3,51</u> 4,80	<u>29,00</u> 38,10	<u>44,18</u> 48,32	<u>6,32</u> 2,91	<u>9,34</u> 2,69	<u>7,65</u> 3,18	<u>23,31</u> 8,78	41,6	58,4
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	<u>3,44</u> 5,02	<u>25,82</u> 38,65	<u>47,10</u> 46,90	<u>6,46</u> 2,62	<u>8,42</u> 3,54	<u>8,76</u> 3,47	<u>23,64</u> 9,63	39,6	60,4
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	<u>1,60</u> 5,16	<u>34,34</u> 38,89	<u>38,50</u> 46,43	<u>6,39</u> 2,70	<u>10,57</u> 3,31	<u>7,60</u> 3,51	<u>24,56</u> 9,52	46,2	53,8

Додаток

Таблиця Е.4

Гранулометричний і мікроагрегатний склад у шарі (0 - 20 см) ґрунту за вирощування топінамбура

Варіант	Вміст гранулометричних фракцій							К	Кс
	1- 0,25 мм	0,25- 0,05 мм	0,05-0,01 мм	0,01 – 0,005 мм	0,005 – 0,001 мм	<0,001 мм	Σ фракцій < 0,01 мм		
1. Без добрив (контроль)	<u>7,74</u> 2,64	<u>35,74</u> 44,89	<u>41,34</u> 43,67	<u>4,16</u> 1,69	<u>2,71</u> 2,90	<u>8,31</u> 4,21	<u>15,18</u> 8,80	50,7	49,4
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	<u>6,74</u> 3,37	<u>46,76</u> 42,76	<u>28,00</u> 45,09	<u>4,88</u> 2,63	<u>5,81</u> 2,49	<u>7,61</u> 3,66	<u>18,3</u> 8,78	48,1	52,0
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	<u>6,95</u> 3,56	<u>44,32</u> 41,98	<u>30,33</u> 44,73	<u>4,92</u> 2,78	<u>6,93</u> 2,94	<u>7,56</u> 3,80	<u>18,45</u> 9,73	50,3	49,7
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	<u>4,18</u> 4,24	<u>30,98</u> 39,87	<u>45,2</u> 46,98	<u>6,00</u> 2,70	<u>7,78</u> 3,39	<u>5,86</u> 2,82	<u>19,64</u> 8,91	48,1	51,9
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	<u>3,53</u> 5,06	<u>25,34</u> 32,53	<u>48,95</u> 53,29	<u>5,56</u> 2,12	<u>8,04</u> 3,61	<u>8,58</u> 3,39	<u>22,18</u> 9,12	39,5	60,5
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	<u>4,01</u> 4,50	<u>27,50</u> 37,80	<u>44,58</u> 48,52	<u>5,92</u> 2,71	<u>8,84</u> 3,09	<u>9,15</u> 3,38	<u>23,91</u> 9,18	36,9	63,1
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	<u>3,94</u> 4,72	<u>26,32</u> 38,15	<u>47,50</u> 47,10	<u>6,06</u> 2,42	<u>7,92</u> 3,84	<u>8,26</u> 3,77	<u>22,24</u> 10,03	45,6	54,4
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	<u>2,1</u> 4,86	<u>34,84</u> 38,59	<u>38,90</u> 46,63	<u>5,99</u> 2,50	<u>10,07</u> 3,61	<u>7,10</u> 3,81	<u>23,16</u> 9,92	53,6	53,0

Додаток

Динаміка вмісту лабільних і стабільних форм гумусу після повторного внесення ОСВ під вербу енергетичну

Варіант	Шар ґрунту	Га	Гп	Гзаг	Га до Гзаг
1. Без добрив – контроль	0-20	0,64	1,00	1,64	39
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0-20	0,63	1,03	1,66	38
3. ОСВ – 40 т/га	0-20	0,68	1,07	1,81	41
4. ОСВ – 60 т/га	0-20	0,70	1,09	1,75	38
5. ОСВ – 80 т/га	0-20	0,72	1,13	1,85	39
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0-20	0,62	1,11	1,78	35
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0-20	0,63	1,07	1,70	37
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0-20	0,65	1,09	1,74	37
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0-20	0,65	1,09	1,76	37
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0-20	0,66	1,06	1,72	38

Додаток

Динаміка вмісту лабільних і стабільних форм гумусу після повторного внесення ОСВ під вербу енергетичну

Варіант	Шар ґрунту	Га	Гп	Гзаг	Га до Гзаг
1. Без добрив – контроль	20-40	0,57	0,88	1,45	39
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	20-40	0,67	0,96	1,43	47
3. ОСВ – 40 т/га	20-40	0,60	1,04	1,64	37
4. ОСВ – 60 т/га	20-40	0,55	1,12	1,67	39
5. ОСВ – 80 т/га	20-40	0,57	1,18	1,75	33
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	20-40	0,55	1,21	1,76	31
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	20-40	0,49	1,01	1,50	33
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	20-40	0,54	1,00	1,54	35
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	20-40	0,54	1,01	1,55	35
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	20-40	0,56	1,01	1,57	36

Додаток

**Динаміка вмісту лабільних і стабільних форм гумусу після внесення
осаду стічних вод та компостів на їх основі під трав'янисті культури, середнє
за (2019 – 2022 рр.)**

У відсотках

Варіант	Шар грунту	Га	Гп	Гзаг	Га до Гзаг
1. Без добрив (контроль)	0 – 20	0,68	1,03	1,71	47
	20 – 40	0,51	1,11	1,62	49
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ ;	0 – 20	0,67	1,05	1,72	45
	20 – 40	0,53	1,11	1,62	44
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	0,66	1,06	1,72	45
	20 – 40	0,51	1,12	1,63	44
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	0,65	1,09	1,74	45
	20 – 40	0,53	1,13	1,66	41
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	0,63	1,14	1,77	43
	20 – 40	0,58	1,11	1,69	41
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈ ;	0 – 20	0,62	1,15	1,78	43
	20 – 40	0,55	1,11	1,66	41
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇ ;	0 – 20	0,65	1,08	1,74	45
	20 – 40	0,55	1,09	1,64	44
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅ .	0 – 20	0,66	1,07	1,73	44
	20 – 40	0,54	1,14	1,68	41
НІР _{0,05}	0 – 20	0,1	0,1	0,1	1
	20 – 40	0,1	0,1	0,1	1

Додаток Є

Основні агрохімічні показники ґрунту дослідних ділянок

Додаток

**Середній вміст рухомих сполук фосфору у ґрунті під час вирощування енергетичних культур після внесення осаду
стічних вод**

№ п/п	Сильфія	Міскантус	Свічграс	Топінамбур
	мг/кг			
1	104,56	102,06	102,06	102,06
2	118,81	111,75	115,56	106,81
3	117,88	119,88	115,81	113,13
4	123,19	119,19	121,38	113,88
5	114,13	123,44	125,81	128,44
6	139,81	130,06	126,19	134,63
7	117,38	125,56	111,38	125,06
8	115,94	131,38	125,0	125,63
середнє	118,96	120,41	117,90	118,70

Додаток

**Середній вміст рухомих сполук калію у ґрунті за вирощування енергетичних культур після внесення
осаду стічних вод**

№ варіанту дослідів	Верба енергетична	Сильфія	Міскантус	Свічграс	Топінамбур
	мг/кг				
1	35,59	38,75	38,34	38,14	38,91
2	53,23	47,55	47,79	47,34	48,05
3	85,71	81,44	81,8	81,23	81,91
4	90,70	77,99	78,26	77,74	78,46
5	91,21	83,18	83,43	82,95	83,97
6	94,45	87,36	87,63	87,1	87,86
7	72,63	84,27	84,58	84,06	84,77
8	77,71	85,78	86,07	85,57	86,27
9	73,61	-	-	-	-
10	71,57	-	-	-	-
Середнє	74,64	73,29	73,49	73,02	73,78

Вміст різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту, за повторного внесення осаду стічних вод та компостів під вербу енергетичну, середнє за 2016 – 2022 роки

Варіант	Шар ґрунту, см	Вміст різних фракцій азоту в ґрунті				
		Амонійний $N_{NH_4^+}$	Нітратний $N_{NO_3^-}$	Мінеральний $N_{NH_4^+} + N_{NO_3^-}$	Лужногидролізований	Загальний азот, %
1	2	3	4	5	6	7
1. Без добрив (контроль)	0 - 20	14	1,68	15,68	66,7	0,07
	20 - 40	16	1,70	17,63	26,78	0,08
2. $N_{100}P_{100}K_{100}$	0 - 20	20	2,82	22,82	71,30	0,11
	20 - 40	24	2,51	26,51	39,91	0,13
3. ОСВ 40 т/га	0 - 20	37	2,27	39,27	81,34	0,10
	20 - 40	33	1,90	34,90	31,53	0,14
4. ОСВ 60 т/га	0 - 20	39	2,54	41,54	89,85	0,11
	20 - 40	42	2,56	44,56	61,24	0,15
5. ОСВ 80 т/га	0 - 20	50	2,73	52,73	114,2	0,13
	20 - 40	35	2,97	37,97	84,36	0,13
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0 - 20	38	2,27	40,27	90,10	0,11
	20 - 40	42	1,98	43,98	32,81	0,14
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 - 20	31	2,12	33,12	77,03	0,10
	20 - 40	26	1,82	27,82	30,14	0,14
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 - 20	35	2,51	37,51	80,71	0,10
	20 - 40	29	1,86	30,86	31,10	0,14
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 - 20	47	2,73	49,73	87,56	0,11
	20 - 40	42	2,24	44,24	50,69	0,15
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0 - 20	31	2,90	33,90	86,31	0,11
	20 - 40	36	1,87	37,87	33,81	0,15
Середнє	0 - 40	33,35	2,30	35,65	63,37	0,12
$НР_{0,05}$	0 - 20	1	0,12	2,12	1,20	0,01
	20 - 40	2	0,11	2,23	1,23	0,01

Додаток

Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту, за повторного внесення осаду стічних вод та компостів під вербу енергетичну, середнє за 2016 – 2022 роки

Варіант	Шар ґрунту, см	Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в ґрунті						
		Амонійний	Нітратний	Мінеральний	Лужногід-ролізований	Загальний азот, %		
							$N_{NH_4^{+}}$	$N_{NO_3^{-}}$
				мг/кг				
1	2	3	4	5	6	7		
2. $N_{100}P_{100}K_{100}$	0 - 20	1,43	1,68	1,46	1,07	1,57		
	20 - 40	1,50	1,48	1,50	1,49	1,63		
3. ОСВ 40 т/га	0 - 20	2,64	1,35	2,50	1,22	1,43		
	20 - 40	2,06	1,12	1,98	1,18	1,75		
4. ОСВ 60 т/га	0 - 20	2,79	1,51	2,65	1,35	1,57		
	20 - 40	2,63	1,51	2,53	2,29	1,88		
5. ОСВ 80 т/га	0 - 20	3,57	1,63	3,36	1,71	1,86		
	20 - 40	2,19	1,75	2,15	3,15	1,63		
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0 - 20	2,71	1,35	2,57	1,35	1,57		
	20 - 40	2,63	1,16	2,49	1,23	1,75		
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 - 20	2,21	1,26	2,11	1,15	1,43		
	20 - 40	1,63	1,07	1,58	1,13	1,75		
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 - 20	2,5	1,49	2,39	1,21	1,43		
	20 - 40	1,81	1,09	1,75	1,16	1,75		
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 - 20	3,36	1,63	3,17	1,31	1,57		
	20 - 40	2,63	1,32	2,51	1,89	1,88		
10.Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0 - 20	2,21	1,73	2,16	1,29	1,57		
	20 - 40	2,25	1,10	2,15	1,26	1,88		

Таблиця Є. 5

Вплив повторного внесення осаду стічних вод на вміст рухомих сполук фосфору за вирощування верби енергетичної на дерново-підзолистих ґрунтах

Варіант	Шар ґрунту, см	Роки досліджень				
		2016	2017	2018	2019	середнє
		мг/кг				
1	2	3	4	5	6	7
1.Без добрив (контроль)	0 - 20	119,0	87,0	58,0	54,0	79,50
	20 - 40	99,0	68,0	45,0	40,0	63,00
	40 - 60	75,0	43,0	40,0	37,0	48,75
	60 - 80	48,0	33,0	30,0	30,0	35,25
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0 - 20	136,0	124	108	100	117,00
	20 - 40	123	110	99	85	104,25
	40 - 60	100	90	84	69	85,75
	60 - 80	84	80	63	57	71,00
3. ОСВ 40 т/га	0 - 20	144	136	132	130	135,50
	20 - 40	129	120	115	110	118,50
	40 - 60	100	93	87	80	90,00
	60 - 80	80	78	70	66	73,50
4. ОСВ 60 т/га	0 - 20	190	176	159	130	163,75
	20 - 40	160	141	125	100	131,50
	40 - 60	123	110	96	89	104,50
	60 - 80	100	90	85	78	88,25
5. ОСВ 80 т/га	0 - 20	201	184	150	113	162,00
	20 - 40	176	143	128	99	136,50
	40 - 60	132	110	94	81	104,25
	60 - 80	106	90	87	70	88,25
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0 - 20	196	173	149	122	160,00
	20 - 40	165	150	122	109	136,50
	40 - 60	120	105	97	84	101,50
	60 - 80	90	86	80	68	81,00
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 - 20	124	106	100	90	105,00
	20 - 40	129	108	95	77	102,25
	40 - 60	100	83	67	50	75,00
	60 - 80	80	68	60	50	64,50
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 - 20	158	133	112	99	125,50
	20 - 40	121	120	115	110	116,50
	40 - 60	90	93	87	80	87,50
	60 - 80	66	62	60	60	62,00

Продовження Таблиця Є.5.

1	2	3	4	5	6	7
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 - 20	202	180	169	152	175,75
	20 - 40	179	160	152	139	157,50
	40 - 60	145	135	119	107	126,50
	60 - 80	96	86	78	60	80,00
10. Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0 - 20	148	134	127	108	129,25
	20 - 40	125	16	100	91	83,01
	40 - 60	96	93	87	82	89,50
	60 - 80	76	62	60	60	64,51

**Коефіцієнти концентрації рухомих сполук калію під час вирощування верби
енергетичної**

Варіант	Шар грунту, см	2016	2018	2020	2022	серед не
1	2	3	4	5	6	7
2. N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0 – 20	1,67	1,68	1,71	1,68	1,69
	20 – 40	1,56	1,58	1,56	1,55	1,56
	40 – 60	1,39	1,37	1,35	1,36	1,37
	60 – 80	1,37	1,36	1,37	1,32	1,35
3. ОСВ 40 т/га	0 – 20	0,60	2,75	2,73	2,70	2,74
	20 – 40	0,58	2,74	2,59	2,56	2,65
	40 – 60	0,65	2,14	2,12	2,11	2,13
	60 – 80	0,65	2,09	2,08	2,04	2,08
4. ОСВ 60 т/га	0 – 20	0,56	2,89	2,83	2,81	2,89
	20 – 40	0,56	2,79	2,74	2,55	2,72
	40 – 60	0,53	2,52	2,44	2,31	2,48
	60 – 80	0,65	2,10	2,08	2,03	2,08
5. ОСВ 80 т/га	0 – 20	0,52	3,06	2,96	2,94	3,04
	20 – 40	0,58	2,73	2,72	2,68	2,71
	40 – 60	0,58	2,39	2,39	2,41	2,40
	60 – 80	0,66	2,08	2,05	2,04	2,06
6. Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	0,5	3,28	3,28	3,33	3,31
	20 – 40	0,56	2,80	2,74	2,70	2,76
	40 – 60	0,57	2,39	2,29	2,23	2,33
	60 – 80	0,63	2,18	2,17	2,16	2,17
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0 – 20	0,76	2,21	2,23	2,21	2,21
	20 – 40	0,73	2,10	2,04	2,06	2,09
	40 – 60	0,69	1,94	1,94	1,95	1,97
	60 – 80	0,73	1,89	1,88	1,88	1,88
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0 – 20	0,70	2,39	2,42	2,39	2,40
	20 – 40	0,66	2,37	2,34	2,31	2,35
	40 – 60	0,65	2,11	2,09	2,08	2,10
	60 – 80	0,72	1,89	1,85	1,79	1,86
9. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0 – 20	0,74	2,24	2,22	2,19	2,23
	20 – 40	0,72	2,15	2,16	2,18	2,16
	40 – 60	0,67	2,02	1,96	1,97	2,00
	60 – 80	0,73	1,87	1,86	1,85	1,86

Продовження Таблиця Є.6

1	2	3	4	5	6	7
10.Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0 – 20	0,77	2,13	2,11	2,10	2,10
	20 – 40	0,73	2,12	2,09	2,09	2,09
	40 – 60	0,68	2,00	1,97	1,96	1,96
	60 – 80	0,76	1,81	1,79	1,79	1,79

Таблиця Є.7

Додаток

Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в шарі 0 – 40 см дерново-підзолистого ґрунту, після внесення осаду стічних вод та компостів під, середнє за 2016 – 2022 роки

Варіант	Шар грунту, см	Коефіцієнти концентрацій різних фракцій азоту в ґрунті				
		Амонійний	Нітратний	Мінеральний	Лужногід- ролізований	Загальний азот, %
мг/кг ґрунту						
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0 – 20	1,13	1,26	1,06	1,03	1,14
	20 – 40	1,06	1,20	1,11	1,08	1,25
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 – 20	1,20	1,31	1,18	1,05	1,29
	20 – 40	1,06	1,72	1,15	1,10	1,25
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 – 20	1,20	1,11	1,11	1,03	1,29
	20 – 40	1,00	1,60	1,14	1,09	1,25
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 – 20	1,27	1,69	1,21	1,06	1,43
	20 – 40	1,13	1,75	1,21	1,15	1,38
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0 – 20	1,33	2,05	1,29	1,08	1,57
	20 – 40	1,19	2,11	1,30	1,20	1,38
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0 – 20	1,20	1,17	1,11	1,04	1,29
	20 – 40	1,13	1,12	1,17	1,08	1,25
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 – 20	1,27	2,09	1,24	1,06	1,43
	20 – 40	1,13	1,70	1,21	1,14	1,25

Додаток

Вплив осаду стічних вод на вміст рухомих сполук фосфору під час вирощування сільфії пронизонолистї на дерново-підзолистих ґрунтах

Варіант Шар ґрунту, см	Шар ґрунту, см	Роки досліджень				
		2016	2017	2018	2019	середнє
		мг/кг				
1. Без добрив (контроль)	0 - 20	174	166	158	150	162,00
	20 - 40	131	128	126	118	125,75
	40 - 60	97	84	78	60	79,75
	60 - 80	54	50	50	49	50,75
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0 - 20	179	170	161	156	166,50
	20 - 40	164	146	139	125	143,50
	40 - 60	118	108	95	86	101,75
	60 - 80	68	64	62	60	63,50
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 - 20	185	177	169	156	171,75
	20 - 40	151	140	131	120	135,50
	40 - 60	110	100	94	81	96,25
	60 - 80	76	70	66	60	68,00
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 - 20	189	170	159	141	164,75
	20 - 40	170	159	140	130	149,75
	40 - 60	128	115	100	81	106,00
	60 - 80	86	78	65	60	72,25
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 - 20	197	178	161	140	169,00
	20 - 40	150	134	120	104	127,00
	40 - 60	115	92	74	71	88,00
	60 - 80	87	75	68	60	72,50
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0 - 20	224	201	182	160	191,75
	20 - 40	189	170	151	133	160,75
	40 - 60	151	129	107	100	121,75
	60 - 80	98	87	80	75	85,00
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0 - 20	208	190	175	150	180,75
	20 - 40	154	137	120	109	130,00
	40 - 60	115	96	85	76	93,00
	60 - 80	79	64	60	60	65,75
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 - 20	219	186	170	145	180,00
	20 - 40	187	124	110	91	128,00
	40 - 60	109	90	82	76	89,25
	60 - 80	75	70	61	60	66,50

Таблиця Є.9.

Додаток

Вплив осаду стічних вод на вміст рухомих сполук калію під час вирощування
сильфії пронизонолистій на дерново-підзолистих ґрунтах

Варіант	Шар ґрунту, см	Роки досліджень				
		2019	2020	2021	2022	середнє
		мг/кг				
1. Без добрив (контроль)	0 - 20	41,3	40,7	39,6	39	40,15
	20 - 40	42,8	41,6	40,9	39,1	41,10
	40 - 60	39,5	37,6	37,0	36,7	37,70
	60 - 80	36,2	36,0	36,0	36,0	36,05
2. N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0 - 20	56,2	54,3	52,9	50,4	53,45
	20 - 40	54,8	50,5	49,0	47,4	50,425
	40 - 60	46,1	44,3	41,6	40,5	43,125
	60 - 80	43,8	43,0	43,0	43,0	43,20
3. N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0 - 20	96,6	94,2	91,5	89,6	92,975
	20 - 40	88,2	87,6	86,5	85,0	86,825
	40 - 60	81,8	80,6	80,0	79,0	80,35
	60 - 80	67,0	65,4	65	65,0	65,60
4. ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0 - 20	90,4	89,6	88,1	87,5	88,90
	20 - 40	86,7	83,6	80,9	79,2	82,60
	40 - 60	80,1	77,5	75,1	72,9	76,40
	60 - 80	65,4	64,0	63,8	63,0	64,05
5. ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0 - 20	96,6	95,1	93,6	92,0	94,325
	20 - 40	90,9	87,8	84,4	82,9	86,50
	40 - 60	85,2	84	83,5	86,2	84,725
	60 - 80	69,9	67,4	66,1	65,3	67,175
6. ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0 - 20	106,3	104,6	102,9	101,3	103,775
	20 - 40	98,2	95	90,1	88,3	92,90
	40 - 60	82,4	80,8	79,9	76,4	79,875
	60 - 80	74,0	73,1	72,8	71,6	72,875
7. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0 - 20	101,4	97,5	95,2	94,0	97,025
	20 - 40	95,8	94,7	93,5	91,6	93,90
	40 - 60	78,9	77,4	76,9	76,0	77,30
	60 - 80	70,0	69,0	68,4	68,0	68,85
8. Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0 - 20	106,1	101,4	99,6	90,5	99,40
	20 - 40	91,9	89,4	87,9	85,3	88,625
	40 - 60	87,4	85,3	81,8	80,5	83,75
	60 - 80	72,1	71,7	71	70,5	71,325

Додаток Ж

Вміст важких металів в досліджуваних рослинах та ґрунті

Додаток

Вміст важких металів в коренях верби енергетичної після повторного внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив – контроль	1,19	1,04	0,48	2,49	30,13	0,40	11,08
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	1,31	1,09	0,63	2,59	30,34	0,50	12,23
ОСВ – 40 т/га	1,64	1,36	0,79	3,12	33,49	0,86	13,99
ОСВ – 60 т/га	1,81	1,57	0,87	3,42	35,11	0,96	14,93
ОСВ – 80 т/га	1,84	1,67	0,99	3,62	36,10	1,08	15,13
Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	1,70	1,60	0,91	3,31	34,76	0,89	14,79
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	1,52	1,31	0,79	2,98	33,61	0,76	13,54
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	1,61	1,44	0,83	3,16	34,89	0,84	14,54
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	1,74	1,63	0,94	3,41	35,12	0,91	14,92
Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	1,69	1,51	0,87	3,33	34,99	0,87	14,72
НІР _{0,05}	0,05	0,05	0,04	0,1	0,1	0,04	0,2

Додаток

**Вміст важких металів в бульбах топінамбура після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі,
середнє за 2016–2022 рр.**

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,20	0,99	0,48	2,50	30,24	0,49	12,17
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,29	1,20	0,59	2,61	30,51	0,57	12,54
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,32	1,44	0,90	2,80	30,78	0,60	13,22
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,39	1,37	0,82	2,73	30,97	0,73	13,55
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,54	1,46	0,91	2,87	31,70	0,81	14,01
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,61	1,57	0,99	2,94	32,37	0,94	14,60
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,38	1,41	0,87	2,76	31,02	0,75	13,71
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,44	1,49	0,78	2,80	32,24	0,82	14,04
НІР _{0,05}	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Додаток

Вміст важких металів в коренях світчграсу після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,12	0,72	0,48	2,50	31,10	31,10	12,01
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,29	0,83	0,52	2,73	31,81	31,81	12,65
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,28	0,88	0,57	2,81	32,00	32,00	12,86
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,27	0,85	0,64	2,68	32,42	32,42	13,06
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,30	0,92	0,69	2,89	32,06	32,06	13,35
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,44	0,97	0,84	3,26	32,95	32,95	13,90
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,26	0,99	0,61	3,01	32,43	32,43	13,52
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,31	1,09	0,67	3,20	32,81	32,81	13,94
НІР _{0,05}	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,01

Додаток

Вміст важких металів в коренях міскантуса після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,19	0,98	0,49	2,43	30,20	0,49	12,30
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,37	1,07	0,57	2,91	31,16	0,60	12,42
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,44	1,24	0,71	3,73	32,19	0,76	13,18
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,49	1,29	0,79	3,85	32,21	0,79	13,11
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,60	1,40	0,93	3,98	33,43	0,88	13,33
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,65	1,47	1,05	4,03	34,52	0,94	14,21
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,54	1,36	0,94	3,90	33,62	1,03	13,19
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,63	1,49	0,99	3,99	34,29	1,15	14,01
НІР _{0,05}	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1

Додаток

Вміст важких металів в коренях сільфії пронизанолистої після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,15	1,06	0,49	2,40	30,10	0,44	12,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,18	1,07	0,54	2,38	30,37	0,47	12,46
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,21	1,09	0,57	2,36	31,10	0,50	12,64
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,27	1,14	0,60	2,73	32,22	0,56	13,23
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,32	1,21	0,64	3,09	32,48	0,64	13,47
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,37	1,29	0,69	3,34	30,90	0,71	12,59
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,30	1,18	0,66	3,58	31,16	0,65	12,73
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,32	1,24	0,70	3,65	31,35	0,70	12,80
НІР _{0,05}	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Додаток

Вміст важких металів в коренях верби енергетичної за повторного внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив – контроль	1,19	1,04	0,48	2,49	30,13	0,40	11,08
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	1,31	1,09	0,63	2,59	30,34	0,50	12,23
ОСВ – 40 т/га	1,64	1,36	0,79	3,12	33,49	0,86	13,99
ОСВ – 60 т/га	1,81	1,57	0,87	3,42	35,11	0,96	14,93
ОСВ – 80 т/га	1,84	1,67	0,99	3,62	36,10	1,08	15,13
Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	1,70	1,60	0,91	3,31	34,76	0,89	14,79
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	1,52	1,31	0,79	2,98	33,61	0,76	13,54
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	1,61	1,44	0,83	3,16	34,89	0,84	14,54
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	1,74	1,63	0,94	3,41	35,12	0,91	14,92
Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	1,69	1,51	0,87	3,33	34,99	0,87	14,72
НІР _{0,05}	0,05	0,05	0,04	0,1	0,1	0,04	0,2

Додаток

Вміст важких металів в бульбах топінамбура після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,20	0,99	0,48	2,50	30,24	0,49	12,17
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,29	1,20	0,59	2,61	30,51	0,57	12,54
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,32	1,44	0,90	2,80	30,78	0,60	13,22
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,39	1,37	0,82	2,73	30,97	0,73	13,55
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,54	1,46	0,91	2,87	31,70	0,81	14,01
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,61	1,57	0,99	2,94	32,37	0,94	14,60
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,38	1,41	0,87	2,76	31,02	0,75	13,71
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,44	1,49	0,78	2,80	32,24	0,82	14,04
НІР _{0,05}	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Додаток

Вміст важких металів в коренях світочграсу після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,12	0,72	0,48	2,50	31,10	31,10	12,01
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,29	0,83	0,52	2,73	31,81	31,81	12,65
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,28	0,88	0,57	2,81	32,00	32,00	12,86
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,27	0,85	0,64	2,68	32,42	32,42	13,06
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,30	0,92	0,69	2,89	32,06	32,06	13,35
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,44	0,97	0,84	3,26	32,95	32,95	13,90
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,26	0,99	0,61	3,01	32,43	32,43	13,52
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,31	1,09	0,67	3,20	32,81	32,81	13,94
НІР _{0,05}	0,01	0,01	0,01	0,1	0,1	0,1	0,01

Додаток

**Вміст важких металів в коренях міскантуса після
внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.**

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,19	0,98	0,49	2,43	30,20	0,49	12,30
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,37	1,07	0,57	2,91	31,16	0,60	12,42
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,44	1,24	0,71	3,73	32,19	0,76	13,18
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,49	1,29	0,79	3,85	32,21	0,79	13,11
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,60	1,40	0,93	3,98	33,43	0,88	13,33
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,65	1,47	1,05	4,03	34,52	0,94	14,21
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,54	1,36	0,94	3,90	33,62	1,03	13,19
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,63	1,49	0,99	3,99	34,29	1,15	14,01
НІР _{0,05}	0,03	0,31	0,05	0,33	0,66	0,33	0,17

Додаток

Вміст важких металів в коренях сільфії пронизанолистої після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в коренях, мг/кг сухої речовини						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,15	1,06	0,49	2,40	30,10	0,44	12,03
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,18	1,07	0,54	2,38	30,37	0,47	12,46
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,21	1,09	0,57	2,36	31,10	0,50	12,64
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,27	1,14	0,60	2,73	32,22	0,56	13,23
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,32	1,21	0,64	3,09	32,48	0,64	13,47
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,37	1,29	0,69	3,34	30,90	0,71	12,59
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,30	1,18	0,66	3,58	31,16	0,65	12,73
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,32	1,24	0,70	3,65	31,35	0,70	12,80
НІР _{0,05}	0,33	0,33	0,03	0,31	0,63	0,04	0,67

Додаток

**Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів свіччграсу після внесення осаду стічних вод,
середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,15	1,15	1,08	1,09	1,02	1,09	1,05
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,14	1,22	1,19	1,12	1,03	1,24	1,07
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,13	1,18	1,33	1,07	1,04	1,41	1,09
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,16	1,28	1,44	1,16	1,03	1,65	1,11
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,29	1,35	1,75	1,30	1,06	1,91	1,16
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,13	1,38	1,27	1,20	1,04	1,85	1,13
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,17	1,51	1,40	1,28	1,05	1,76	1,16
Середнє	1,17	1,30	1,35	1,17	1,04	2,73	1,11

Додаток

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів міскантуса після внесення осаду стічних воді компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,15	1,09	1,16	1,20	1,03	1,22	1,01
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,21	1,27	1,45	1,53	1,07	1,55	1,07
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,25	1,32	1,61	1,58	1,07	1,61	1,07
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,34	1,43	1,90	1,64	1,11	1,80	1,08
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,39	1,50	2,14	1,66	1,14	1,92	1,16
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,29	1,39	1,92	1,60	1,11	2,10	1,07
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,37	1,52	2,02	1,64	1,14	2,35	1,14
Середнє	1,29	1,36	1,74	1,55	1,10	1,79	1,09

Додаток

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів топінамбура після внесення осаду стічних вод, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,08	1,21	1,23	1,04	1,01	1,16	1,03
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,10	1,45	1,88	1,12	1,02	1,22	1,09
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,16	1,38	1,71	1,09	1,02	1,49	1,11
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,28	1,47	1,90	1,15	1,05	1,65	1,15
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,34	1,59	2,06	1,18	1,07	1,92	1,20
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,15	1,42	1,81	1,10	1,03	1,53	1,13
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,20	1,51	1,63	1,12	1,07	1,67	1,15
Середнє	1,19	1,43	1,75	1,11	1,04	1,52	1,12

Додаток

Індекси внутрішньо-тканинного забруднення важкими металами коренів сільфії пронизанолистої після внесення осаду стічних вод, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,03	1,01	1,10	0,99	1,01	1,07	1,04
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,05	1,03	1,16	0,98	1,03	1,14	1,05
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,10	1,08	1,22	1,14	1,07	1,27	1,10
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,15	1,14	1,31	1,29	1,08	1,45	1,12
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,19	1,22	1,41	1,39	1,03	1,61	1,05
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,13	1,11	1,35	1,49	1,04	1,48	1,06
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,15	1,17	1,43	1,52	1,04	1,59	1,06
Середнє	1,11	1,11	1,28	1,26	1,04	1,37	1,07

Додаток

Коефіцієнти переходу важких металів у системі «корені-зелена маса» міскантуса після внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	0,99	0,95	0,96	0,99	1,00	0,96	0,99
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,96	0,94	0,95	0,92	1,00	0,93	1,03
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,97	0,96	0,96	0,79	0,99	0,93	0,98
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,97	0,96	0,94	0,93	1,00	0,87	1,00
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,96	0,97	0,96	0,91	1,00	0,92	1,01
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,97	0,96	0,91	0,99	0,99	0,96	1,06
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,97	1,10	0,91	0,96	0,99	0,94	1,04
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,98	1,07	0,94	0,98	0,99	0,96	1,01

Додаток

Коефіцієнти переходу важких металів у системі «корені-зелена маса» топінамбура після внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	0,98	0,83	0,98	1,00	1,00	0,96	1,00
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,96	0,96	0,92	0,98	1,00	0,89	0,99
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,06	0,92	0,70	0,97	1,03	0,90	0,96
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,96	0,94	0,81	0,97	1,00	0,86	0,99
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,96	0,94	0,80	0,97	0,99	0,88	0,97
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,97	0,92	0,83	0,98	1,00	0,91	0,99
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,94	0,96	0,79	0,94	1,00	0,92	0,99
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,97	0,95	0,90	0,97	0,97	0,94	0,99

Додаток

Коефіцієнти переходу важких металів у системі «корені-зелена маса» свіччграсу після внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	1,07	1,08	1,02	1,01	1,00	1,02	1,02
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,03	1,04	1,10	1,01	1,00	1,14	1,04
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,09	1,06	1,07	1,03	1,01	1,07	1,01
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,06	1,06	1,07	1,04	1,00	1,11	1,01
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,17	1,08	1,07	1,02	1,03	1,07	1,06
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,09	1,19	1,04	0,99	1,05	1,07	0,94
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,06	1,02	1,15	1,03	0,99	0,94	1,03
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,08	1,07	1,18	1,07	1,02	1,12	1,02

Додаток

Коефіцієнти переходу важких металів у системі «корені-зелена маса» сільфії після внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	0,95	0,85	1,04	1,06	1,00	1,16	1,00
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,10	0,91	1,11	1,09	1,00	1,34	0,99
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	1,22	1,01	1,19	1,26	0,99	1,52	0,99
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	1,10	1,04	1,23	1,21	0,97	1,59	1,03
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	1,18	1,09	1,38	1,15	1,01	1,52	1,10
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	1,22	1,12	1,41	1,11	1,09	1,42	1,20
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	1,23	1,10	1,20	1,01	1,03	1,32	1,13
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	1,30	1,14	1,31	1,04	1,05	1,33	1,17

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – надземна фітомаса» верби після внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив – контроль	0,12	6,05	0,90	0,20	10,20	1,64	0,36
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0,14	5,55	0,84	0,22	9,68	0,82	0,37
ОСВ – 40 т/га	0,15	5,43	1,00	0,34	6,58	0,92	0,44
ОСВ – 60 т/га	0,17	5,62	1,05	0,33	6,53	0,93	0,47
ОСВ – 80 т/га	0,19	5,34	1,06	0,35	3,86	0,92	0,48
Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0,17	5,30	1,04	0,30	6,12	0,92	0,47
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0,15	6,41	0,95	0,27	7,11	0,87	0,43
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0,18	6,25	1,19	0,34	6,74	0,91	0,46
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0,18	5,38	1,19	0,36	6,59	0,94	0,49
Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0,17	6,04	1,18	0,34	6,90	0,93	0,47

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – надземна фітомаса» свіччграсу після внесення у ґрунт осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2019 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,16	6,67	0,67	0,21	9,73	1,76	0,35
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,17	6,33	0,66	0,25	9,46	0,90	0,37
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,17	5,35	0,68	0,26	6,08	0,88	0,39
ОСВ – 20 т/га N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,21	5,40	0,67	0,31	5,69	0,85	0,37
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,20	5,52	0,70	0,34	3,44	0,89	0,39
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,22	4,76	0,78	0,38	5,85	0,85	0,44
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,20	5,54	0,75	0,34	6,55	0,92	0,42
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,21	5,42	0,84	0,37	6,19	0,92	0,47

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – надземна фітомаса» міскантуса після внесення у грунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,15	6,32	0,65	0,20	25,13	2,84	0,41
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,17	4,16	0,65	0,24	22,47	4,56	0,44
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,16	2,44	0,63	0,24	9,66	1,08	0,49
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,18	2,76	0,63	0,29	8,66	1,02	0,59
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,19	3,82	0,66	0,31	4,40	1,01	0,58
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,20	3,57	0,71	0,35	8,70	1,09	0,67
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,20	4,03	0,68	0,31	11,48	1,10	0,63
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,20	3,53	0,76	0,35	9,97	1,11	0,67

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – надземна фітомаса» топінамбура після внесення у грунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,16	6,88	0,71	0,21	17,98	2,43	0,40
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,17	4,28	0,89	0,21	17,79	0,99	0,40
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,18	3,74	0,96	0,22	14,97	1,03	0,43
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,20	4,43	0,98	0,26	10,95	0,96	0,41
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,21	4,23	0,98	0,28	4,94	0,99	0,43
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,18	3,90	0,98	0,33	11,87	1,05	0,46
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,16	3,94	0,98	0,29	18,08	1,03	0,42
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,16	3,76	0,99	0,31	14,08	1,03	0,44

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «ґрунт – надземна фітомаса» сільфії після внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,13	5,19	0,74	0,21	20,14	2,40	0,41
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,15	5,00	0,76	0,26	18,10	0,98	0,40
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,15	3,79	0,81	0,31	8,52	0,98	0,47
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,19	4,12	0,84	0,35	7,77	1,00	0,51
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,21	3,47	0,89	0,37	4,17	1,06	0,53
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,21	3,04	0,94	0,38	7,95	1,12	0,59
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,19	5,52	0,95	0,35	10,02	1,09	0,57
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,21	3,98	0,97	0,36	8,90	1,11	0,61

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – коренева система» верби після внесення у ґрунт осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив – контроль	0,13	6,26	0,95	0,19	10,21	1,51	0,37
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	0,16	5,95	0,86	0,22	9,69	0,82	0,37
ОСВ – 40 т/га	0,18	5,86	1,05	0,37	6,62	0,93	0,46
ОСВ – 60 т/га	0,19	6,24	1,13	0,37	6,54	0,94	0,49
ОСВ – 80 т/га	0,21	5,75	1,13	0,40	3,87	0,93	0,51
Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	0,20	5,67	1,19	0,34	6,13	0,93	0,49
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	0,18	6,91	1,02	0,33	7,21	0,88	0,44
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	0,19	6,71	1,23	0,37	6,76	0,92	0,47
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	0,21	6,00	1,37	0,38	6,59	0,93	0,51
Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	0,19	6,76	1,20	0,37	6,92	0,92	0,50

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – коренева система» міскантуса після внесення у грунт осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,16	6,26	0,81	0,21	25,17	2,86	0,41
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,18	4,28	0,80	0,25	22,58	4,44	0,48
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,18	2,53	0,84	0,30	9,73	1,10	0,63
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,21	3,04	0,91	0,32	8,66	1,02	0,63
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,23	4,10	0,93	0,34	4,40	1,00	0,64
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,24	3,75	0,90	0,35	8,81	1,11	0,68
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,27	4,67	0,91	0,41	11,55	1,06	0,66
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,25	4,08	0,97	0,44	10,06	1,10	0,69

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – коренева система» топінамбура після внесення у ґрунт осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,16	7,06	0,85	0,22	18,00	2,43	0,41
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,18	4,45	0,93	0,24	17,84	1,00	0,41
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,26	3,88	1,05	0,24	14,59	1,04	0,45
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,25	4,63	1,04	0,30	10,98	1,00	0,43
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,27	4,40	1,04	0,32	4,96	1,00	0,44
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,22	4,03	1,06	0,36	11,90	1,08	0,47
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,20	4,18	1,02	0,31	18,14	1,05	0,44
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,17	3,89	1,05	0,33	14,59	1,04	0,46

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – коренева система» світчграсу після внесення у грунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2019 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,16	6,22	0,61	0,20	9,72	1,72	0,34
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,15	6,14	0,64	0,22	9,41	0,87	0,36
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,16	4,92	0,64	0,24	6,03	0,87	0,38
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,19	5,08	0,63	0,28	5,67	0,84	0,36
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,19	4,81	0,65	0,32	3,34	0,83	0,38
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,21	4,36	0,66	0,36	5,57	0,90	0,44
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,17	5,25	0,74	0,36	6,60	0,89	0,41
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,18	5,04	0,78	0,33	6,06	0,90	0,44

Додаток

Коефіцієнти транслокації важких металів у системі «грунт – коренева система» сільфії після внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016–2022 рр.

Варіант	Pb	Cd	Ni	Co	Zn	Fe	Cu
Без добрив (контроль)	0,13	5,48	0,87	0,18	20,07	2,41	0,38
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,13	4,54	0,84	0,19	18,08	1,00	0,37
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	0,13	3,10	0,81	0,20	8,61	0,99	0,37
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	0,15	3,74	0,81	0,22	8,01	0,98	0,42
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	0,15	2,93	0,81	0,25	4,12	0,96	0,46
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	0,15	2,49	0,84	0,27	7,32	0,93	0,53
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	0,16	4,48	0,86	0,26	9,71	0,97	0,57
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	0,16	3,07	0,85	0,27	8,45	0,95	0,59

Додаток

Вміст важких металів в золі верби енергетичної після повторного внесення осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в золі, мг/кг						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив – контроль	78,4	69,9	40,0	152,3	201,1	31,1	752,2
N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀	78,4	70,1	40,7	153,8	209,3	32,1	769,6
ОСВ – 40 т/га	99,8	86,1	46,8	186,6	226,4	40,0	914,7
ОСВ – 60 т/га	100,1	96,2	48,1	201,1	228,6	42,1	930,2
ОСВ – 80 т/га	112,2	99,1	49,9	214,5	226,8	47,4	946,4
Компост (ОСВ + тирса (3:1)) – 60 т/га	100,0	95,9	47,8	200,9	227,8	41,9	929,2
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га	94,9	79,0	44,0	183,4	224,6	38,2	902,5
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 40 т/га	96,9	84,1	45,2	185,1	225,6	38,9	911,2
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 60 т/га	98,6	93,9	46,9	197,9	227,5	41,1	921,3
Компост (ОСВ + солома (3:1) + цементний пил 10 %) – 40 т/га	96,3	84,1	44,9	184,9	225,0	41,0	910,2
НІР _{0,05}	0,6	0,3	0,3	0,2	0,6	0,1	1,0

Додаток

**Вміст важких металів в золі світчграсу після внесення осаду стічних вод і на його основі компосту,
середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Вміст важких металів в золі, мг/кг						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	77,81	68,4	3,91	151,81	196,71	30,12	751,37
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	77,84	70,90	39,80	153,00	204,31	32,54	783,48
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	77,90	79,60	42,10	165,40	212,63	34,61	798,12
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	81,40	84,20	45,90	192,10	228,54	35,29	834,56
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	89,60	89,10	48,00	199,80	230,89	37,01	850,71
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	94,90	93,90	49,80	204,10	239,11	38,25	901,22
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	80,81	83,90	44,30	190,80	221,79	34,72	828,18
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	88,30	88,10	47,60	197,10	226,33	36,76	854,39
НІР _{0,05}	3,66	3,66	2,34	45,56	66,331	3,34	56,34

Додаток

**Вміст важких металів в золі міскантусу після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі,
середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Вміст важких металів в золі, мг/кг						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	78,24	69,8	41,8	150,1	204,5	32,3	753,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	79,86	72,2	42,3	151,9	209,1	33,9	764,5
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	81,54	78,6	43,8	154,3	213,4	34,3	771,8
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	96,56	80,2	46,9	179,2	219,8	37,1	901,3
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	97,23	85,7	48,3	184,9	223,3	39,4	973,9
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	98,57	90,2	51,6	187,3	227,4	40,6	921,8
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	95,15	79,3	45,1	178,5	218,9	36,5	896,7
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	96,78	83,8	47,7	181,7	220,3	38,3	910,4

Додаток

Вміст важких металів в золі топінамбура після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Вміст важких металів в золі, мг/кг						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	79,1	69,7	41,5	154,0	203,2	32,4	754,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	80,3	70,9	42,8	155,3	207,6	33,7	767,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	81,7	71,3	43,4	156,9	209,4	34,1	770,6
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	96,4	84,7	44,1	180,1	214,8	39,2	912,8
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	99,1	87,1	47,5	187,9	218,1	43,7	920,2
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	101,7	89,9	49,3	191,3	223,9	45,1	921,4
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	95,8	83,6	43,8	176,9	212,7	38,7	910,1
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	98,5	86,5	46,4	186,1	217,4	42,9	918,6
НІР _{0,05}	6,56	5,34	3,01	36,21	66,01	1,33	66,33

Додаток

**Вміст важких металів в золі сільфії пронизанолистої після внесення осаду стічних вод і компосту на його основі,
середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Вміст важких металів в золі, мг/кг						
	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	Co	Fe
Без добрив (контроль)	79,0	70,1	41,2	150,3	201,9	32,1	755,3
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	80,5	71,4	42,4	152,1	206,1	34,6	768,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	82,2	72,9	43,1	158,4	210,7	36,9	774,7
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	95,4	80,7	45,9	180,5	226,4	39,1	890,1
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	97,3	83,9	47,1	185,7	230,1	41,7	897,7
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	101,2	87,4	49,2	187,1	237,6	45,4	909,2
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	94,7	79,1	44,8	178,3	224,9	38,4	887,8
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	96,1	82,7	46,4	184,5	229,3	40,7	895,6

Додаток
Коефіцієнти біологічного поглинання ВМ світчграсом після внесення ОСВ і компосту на його основі, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Zn	Fe	Cu	Σ КБП
Без добрив (контроль)	127,56	2,70	0,32	1,50	4,19	7,59	6,60	150,46
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	108,11	2,71	3,14	1,48	4,26	7,76	6,38	133,84
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	93,86	2,96	3,26	1,56	4,34	7,67	6,13	119,78
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	116,29	3,24	3,58	1,68	4,86	8,35	7,68	145,68
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	117,89	3,30	3,56	1,63	4,71	8,34	6,89	146,32
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	109,08	3,44	3,50	1,66	4,51	8,67	6,58	137,44
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	99,75	3,01	3,16	1,55	4,44	8,12	5,78	125,81
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	106,39	3,13	3,36	1,63	4,19	8,30	5,48	132,48
середнє	109,87	3,06	2,985	1,59	4,44	8,10	6,44	136,48

Додаток

**Коефіцієнти біологічного поглинання важких металів міскантусом після внесення осаду стічних вод і компосту,
середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Zn	Fe	Cu	Σ КБП
Без добрив (контроль)	116,78	2,75	3,35	1,61	4,65	8,10	6,82	144,06
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	109,40	2,83	3,38	1,66	4,55	8,13	6,60	136,55
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	84,94	3,01	3,46	1,64	4,54	8,04	6,17	111,80
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	114,95	3,11	3,72	1,80	5,00	9,69	7,79	146,06
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	108,03	3,18	3,77	1,86	4,96	10,14	7,11	139,05
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	100,58	3,32	3,89	1,84	4,84	9,70	6,46	130,63
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	116,04	3,10	3,49	1,74	4,47	9,54	5,25	143,63
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	102,96	3,18	3,67	1,80	4,16	9,79	4,91	130,47
середнє	106,71	3,06	3,59	1,74	4,65	9,14	6,39	135,28

Додаток

**Коефіцієнти біологічного поглинання ВМ топінамбуром після внесення у ґрунт ОСВ і на його основі компосту,
середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Zn	Fe	Cu	Σ КБП
Без добрив (контроль)	129,67	2,75	3,35	1,62	4,15	6,8	5,70	154,04
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	125,47	2,79	3,40	1,67	4,07	6,73	5,36	149,49
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	113,47	2,76	3,39	1,67	3,95	6,59	5,06	136,89
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	148,31	3,26	3,43	1,93	4,30	8,15	6,43	175,81
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	139,58	3,34	3,66	2,13	4,19	7,93	5,87	166,70
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	124,02	3,40	3,77	2,20	4,07	7,74	5,47	150,67
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	147,38	3,23	3,40	1,82	4,25	7,91	5,71	173,70
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	144,85	3,32	3,33	2,00	4,10	7,85	5,64	171,09
середнє	134,09	3,11	3,47	1,88	4,14	7,46	5,66	159,80

Додаток

Коефіцієнти біологічного поглинання важких металів сільфією пронизанолистою після повторного внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Zn	Fe	Cu	Σ КБП
Без добрив (контроль)	123,44	2,80	3,30	1,52	5,18	8,68	8,35	153,27
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	116,67	2,73	3,27	1,59	5,28	8,63	7,61	145,78
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	108,16	2,70	3,18	1,67	5,14	8,61	7,20	136,66
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	134,37	3,04	3,29	1,70	5,66	10,11	8,60	166,77
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	121,63	3,08	3,24	1,82	5,35	10,09	8,44	153,65
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	120,42	3,13	3,28	1,96	5,28	10,10	7,80	151,97
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	129,73	3,03	3,30	1,72	5,48	10,20	7,75	161,21
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	120,13	3,07	3,23	1,77	5,59	10,18	7,10	151,07
середнє	121,82	2,95	3,26	1,72	5,37	9,58	7,86	152,55

Додаток

**Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів свіччграсом після повторного внесення у ґрунт осаду
стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Cu	Zn	Fe
Без добрив (контроль)	432,28	57,97	1,30	13,27	20,88	61,47	107,34
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	370,67	54,54	11,85	14,09	20,54	60,45	54,03
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	299,62	58,10	11,73	14,60	22,53	40,04	54,22
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	325,60	62,37	13,87	15,02	25,55	39,95	53,74
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	331,85	63,19	13,01	15,49	26,12	24,08	53,20
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	287,58	63,45	12,54	15,49	27,84	40,39	58,14
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	336,67	62,61	12,62	14,84	26,03	45,17	54,81
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	339,62	63,38	12,90	15,13	27,30	41,84	55,30
середнє	340,49	60,70	11,23	14,74	24,60	44,17	61,35

Додаток

Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів топінамбуром після повторного внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Cu	Zn	Fe
Без добрив (контроль)	465,29	60,09	13,74	14,27	24,96	120,95	150,96
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	276,90	54,96	13,33	14,10	24,46	121,40	61,37
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	240,29	52,04	12,58	13,81	25,14	99,24	60,58
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	321,33	64,17	13,28	16,13	28,05	76,17	67,46
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	283,14	62,21	13,85	17,48	28,69	34,13	65,78
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	254,25	68,72	10,86	17,15	30,71	82,32	68,25
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	290,30	69,42	9,95	16,13	28,39	124,39	69,42
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	266,22	69,37	10,38	17,09	30,41	98,37	67,79
середнє	299,72	62,62	12,25	15,77	27,60	94,62	76,45

Додаток

Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів сільфією пронизанолистою після повторного внесення у ґрунт осаду стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Cu	Zn	Fe
Без добрив (контроль)	376,19	57,46	10,51	13,38	23,97	134,60	151,06
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	309,62	56,22	10,34	14,24	23,58	122,68	61,45
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	210,77	54,00	9,82	14,94	24,98	58,37	60,90
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	280,59	57,23	11,48	15,45	27,68	56,32	65,78
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	216,22	56,31	11,19	16,10	27,92	29,16	64,17
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	183,91	57,12	10,84	17,26	29,56	56,30	67,35
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	326,55	57,74	10,80	15,61	28,17	70,06	67,72
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	223,49	56,64	10,36	15,96	29,66	61,81	66,59
середнє	265,92	56,59	10,67	15,37	26,94	73,66	75,63

Додаток

**Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів міскантусом після повторного внесення у ґрунт осаду
стічних вод і на його основі компосту, середнє за 2016 – 2022 рр.**

Варіант	Cd	Ni	Pb	Co	Cu	Zn	Fe
Без добрив (контроль)	411,79	57,69	13,70	13,98	25,57	170,42	175,24
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	249,56	54,29	13,18	14,18	25,11	151,52	273,04
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	143,05	53,47	11,41	13,50	25,98	64,47	64,21
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	284	56,48	12,37	14,90	29,28	59,09	70,25
ОСВ – 30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	216,07	57,13	12,20	15,27	29,58	29,42	73,28
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	179,22	55,34	12,00	15,21	31,59	58,01	72,02
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	288,33	53,22	10,87	14,37	30,10	75,22	72,26
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	241,95	54,42	10,65	14,67	31,22	64,60	71,40
середнє	251,75	55,26	12,05	14,51	28,55	84,09	108,96

Таблиця 3.1

Додаток
Продуктивність біоенергетичних культур

Варіанти дослідів	Свічграс					Міскантус						
	Врожай сирової маси			Сухої речовини		Вихід твердого палива, т/га	Врожай сирової маси			Сухої речовини		Вихід твердого палива, т/га
	т/га	приріст		т/га	Приріст, %		т/га	приріст		т/га	Приріст, %	
		+т/га	%					+т/га	%			
Без добрив - контроль	15,3	-	100	7,1	100	7,2	22,1	-	100	10,0	100	11,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	16,1	0,8	105	7,5	106	7,6	23,0	0,9	104	10,4	104	11,6
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	17,0	1,7	111	7,7	108	8,1	23,8	1,7	108	11,0	110	12,2
ОСВ – 20 т/га + N ₅₀ P ₅₂ K ₇₄	16,8	1,5	110	8,2	106	8,0	23,5	1,4	106	10,6	106	11,9
ОСВ -30 т/га + N ₃₀ P ₃₃ K ₆₆	17,5	2,2	114	8,5	120	8,4	24,4	2,3	110	11,7	117	13,0
ОСВ – 40 т/га + N ₁₀ P ₁₄ K ₅₈	18,3	3,0	120	8,9	125	8,7	25,1	3,0	113	12,2	122	13,5
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 20 т/га + N ₅₀ P ₁₆ K ₆₇	19,0	3,7	124	9,2	129	9,2	26,0	3,9	118	12,8	128	14,0
Компост (ОСВ + солома (3:1)) – 30 т/га + N ₃₀ K ₅₅	19,7	4,4	129	9,6	135	9,3	26,9	4,8	122	13,0	130	14,3
НІР _{0,05}	0,2	0,2	5	0,2	2	0,1	0,3	0,3	2	0,2	4	0,3

