

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕКОЛОГІЇ КАРПАТ



**ШПАК ЯРОСЛАВ ВАСИЛЬОВИЧ**

УДК 631.45:574.2:633.174:581.4:581.13:581.192

**ФІТОСТРЕСОРНІСТЬ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ  
КАМ'ЯНОВУГІЛЬНИХ ШАХТ  
ЗА ВПЛИВУ ПОПЕЛУ ТЕС І ГУМАТУ КАЛІЮ**

03.00.16 – екологія

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Львів – 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі фізіології та екології рослин біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка.

**Науковий керівник:** доктор біологічних наук, професор,  
**Терек Ольга Іштванівна,**  
професор кафедри фізіології та екології рослин,  
Львівський національний університет імені Івана Франка  
Міністерства науки і освіти України

**Офіційні опоненти:** доктор біологічних наук, професор,  
**Гнатів Петро Степанович,**  
завідувач кафедри агрохімії та ґрунтознавства  
Львівський національний аграрний університет  
Міністерства аграрної політики та продовольства України;

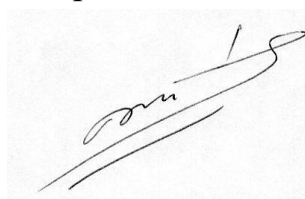
кандидат біологічних наук,  
старший науковий співробітник,  
**Білонога Володимир Михайлович,**  
вчений секретар  
Інститут екології Карпат Національної Академії наук України.

Захист відбудеться «4» березня 2021 року о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К35.257.01 в Інституті екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, м. Львів, 79026.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту екології Карпат НАН України, м. Львів, вул. Козельницька, 4 та на сайті <http://www.ecoinst.org.ua/html/ct1.htm>

Автореферат розіслано «2» лютого 2021 року

Учений секретар спеціалізованої вченої ради  
кандидат біологічних наук,  
старший науковий співробітник



І.М. Шпаківська

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Породні відвали вуглевидобутку негативно впливають на здоров'я людей і стан екосистем прилеглих територій, оскільки виділяють у довкілля високі концентрації токсичних хімічних елементів і їх сполук [Agienko et al., 2018; Alekseenko et al., 2018; Hu et al., 2018]. Під час горіння цих відвалів у повітря виділяються гази, які спричиняють отруєння біоти, утворення кислотних дощів, руйнування озонового шару та підсилення парникового ефекту [Křibek et al., 2017; Taha et al., 2017; Fabiańska et al., 2019; Timofeeva et al., 2019]. Рекультивація антропогенно порушених територій з утворенням гумусового шару та рослинного покриву призводить до нейтралізації чи іммобілізації токсичних сполук [Gajić et al., 2018; Pietrzykowski et al., 2018; Nevedrov et al., 2018], однак субстрати породних відвалів Червоноградського ГПР (гірничо-промислового району) пригнічують ріст більшість рослин внаслідок низького рН, провальної водопроникності, несприятливих мікрокліматичних умов, дефіциту макроелементів та високих концентрацій токсичних хімічних елементів і їх сполук [Knysh et al., 2014; Карпинець, 2017; Бешлей та ін., 2019]. За сучасних економічних умов оптимальним способом рекультивації породних відвалів є фітомеліорація з використанням стійких і водночас швидкорослих рослин, які утворюють значну біомасу. Для підвищення ефективності фітомеліорації, а також збільшення видового асортименту фітомеліорантів проводять спеціальну підготовку субстратів, яка полягає у нейтралізації кислотності за допомогою промислових відходів з лужною реакцією, внесенні меліорантів, добрив і використанні стимуляторів росту рослин [Joniec et al., 2017; Šoch et al., 2018; Anawar et al., 2019; Das et al., 2019].

В періодичній науковій літературі є чимало праць про застосування кам'яновугільного попелу теплоелектростанцій (ТЕС) [Dewangan et al., 2017; Roy et al., 2018; Rajak al., 2020] і гумінових препаратів для зниження фітотоксичності [Макеева, 2014; Huang et al., 2016; Kuznetsova et al., 2020], а також використання рослин роду *Sorghum* для фітомеліорації породних відвалів гірничовидобувної промисловості [Alghamdi, 2016; Pinto et al., 2019; Gajić et al., 2020]. Однак не знайдено публікацій про спільне використання попелу ТЕС і гумінових препаратів, що зумовлює необхідність дослідження їх сумісності та ефективності.

Вирішення цих актуальних питань стало підставою для виконання досліджень за темою дисертації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано протягом 2014-2017 років під час навчання в аспірантурі на кафедрі фізіології та екології рослин біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка в межах держбюджетної наукової теми «Використання відходів промислових підприємств Львівської області та бактеріальних препаратів при фітомеліорації породних відвалів вугільних шахт» (№ державної реєстрації 0113U001898).

**Мета і завдання досліджень.** З'ясування впливу кам'яновугільного попелу Добротвірської ТЕС і гуматів Калію (вермигумату та «ГКВ-45») на фітостресорність субстратів породного відвалу ЦЗФ «Червоноградська» з

використанням суданської трави *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.) в якості біотесту.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

1. Виміряти морфометричні параметри суданської трави за росту на субстратах породного відвалу з додаванням попелу ТЕС і гуматів Калію.
2. Оцінити вплив попелу ТЕС і гуматів Калію на вміст пластидних пігментів у листках суданської трави за росту на субстратах породного відвалу.
3. Виявити вплив субстратів породного відвалу з додаванням попелу ТЕС і гуматів Калію на вміст фенольних сполук в рослинах суданської трави.
4. Виміряти актуальну кислотність субстратів породного відвалу за впливу попелу ТЕС і гумату Калію.
5. Визначити вміст важких металів і макроелементів у субстратах породного відвалу за впливу попелу ТЕС і гумату Калію.
6. Оцінити вплив попелу ТЕС і гумату Калію на вміст важких металів і макроелементів у органах суданської трави за росту на субстратах породного відвалу.
7. Провести кореляційний аналіз між параметрами субстратів породного відвалу та рослин суданської трави.

*Об'єкт дослідження* – субстрати породного відвалу ЦЗФ «Червоноградська» за впливу кам'яновугільного попелу Добротвірської ТЕС і гуматів (вермигумату та «ГКВ-45») Калію.

*Предмет дослідження* – зміна фітостресорності (негативного впливу на екофізіологічні параметри рослин) субстратів породного відвалу за впливу попелу ТЕС і гуматів Калію з використанням суданської трави *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.) в якості біотесту.

*Методи дослідження* – напівпольовий (для вирощування суданської трави), фізичного моделювання (для прогнозування впливу меліорантів на фітостресорність субстратів), біотестування (для оцінки ефективності меліоративних заходів), морфологічні аналізи (для визначення морфометричних тест-ознак), фізико-хімічні (для визначення кислотності субстратів та вмісту хімічних елементів системи субстрат-рослина), біохімічні (для визначення вмісту пігментів фотосинтезу в листках суданської трави), статистичні (для визначення достовірності та виявлення причинно-наслідкових зв'язків між одержаними результатами).

**Наукова новизна одержаних результатів.** Уперше досліджено сумісність та ефективність одночасного використання кам'яновугільного попелу ТЕС з гуматами Калію для меліорації породних відвалів вуглевидобутку. Встановлено, що застосування попелу в поєднанні з гуматами Калію ефективніше, ніж внесення тільки одного з цих меліорантів. Зокрема виявлено яскраво виражену синергетичну дію попелу Добротвірської ТЕС і гумату Калію «ГКВ-45» на здатність підвищувати рН субстрату сіро-чорної породи відвалу ЦЗФ «Червоноградська», знижувати у ньому вміст рухомих форм Плюмбуму, а також збільшувати біомасу коренів і вміст хлорофілу *a* в листках суданської трави за росту на субстратах цієї породи. Також знайдено високий вміст рухомих амонійних сполук в субстраті сіро-чорної породи відвалу ЦЗФ «Червоноградська», що робить непотрібним його підживлення азотними добривами. Крім того, проведено кореляційний аналіз вмісту рухомих форм

макроелементів і важких металів у субстраті породного відвалу Червоноградського ГПР з їх валовим вмістом в органах рослин з C<sub>4</sub> типом фотосинтезу (суданської трави) за впливу контрольованих експериментальних умов.

**Практичне значення одержаних результатів.** Адаптовані для субстратів породних відвалів вуглевидобутку та попелу ТЕС методики визначення хімічних елементів використовують студенти кафедри фізіології та екології рослин біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка для виконання та написання курсових і магістерських робіт. Рекомендації щодо сумісного внесення кам'яновугільного попелу Добротвірської ТЕС і гуматів Калію та вирощування суданської трави для меліорації породних відвалів Центральної збагачувальної фабрики використовує ПАТ «Львівська вугільна компанія», про що свідчать відповідні акти впровадження.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи здобувач отримав самостійно. Протягом 2014-2017 років автор особисто виконав основний обсяг експериментальної частини дисертації, статистичну обробку результатів, провів підбір та опрацювання літературних джерел. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої праці здобувача. Права співавторів публікацій при написанні дисертації та автореферату не порушено.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи було висвітлено у доповідях на XII, XIII, XV Міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології» (Львів, 2015-2017, 2019 рр.), XI і XII Науковій конференції «Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного парку» (Шацьк 2015, 2016 рр.) і 65-й науково-технічній конференції «Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем» (Львів, 2015 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 12 наукових праць, у тому числі 6 статей, з яких: 5 у фахових виданнях України, які входять до переліку МОН України (журнал Львівського національного університету ім. І. Франка «Біостудії/Studia Biologica», Вісник Львівського університету. Серія: біологічна, Вісник Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича «Біосистеми», Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Л. Українки. Серія біологічна; Науково-практичний журнал «Екологічні науки» Міністерства екології та природних ресурсів України та Державної екологічної академії післядипломної освіти); 1 в іноземному виданні «Traektoriâ Nauki/Path of Science», яке входить до міжнародних наукометричних баз даних «CrossRef», «Copernicus», «DOAJ», а також 6 тез доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Обсяг основного змісту кандидатської роботи становить 112 сторінок машинописного тексту. Робота складається зі вступу, огляду літератури, опису методів досліджень і трьох експериментальних розділів, що містять 35 таблиць і 27 рисунків, висновків і списку використаних джерел (237 найменувань) та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Проаналізовано сучасні наукові джерела щодо меліорації породних відвалів вуглевидобутку з використанням попелу ТЕС, гуматів, вирощування рослин роду *Sorghum*. Слід відмітити, що для опису та підкреслення негативного впливу сукупності стрес-факторів різних компонентів середовища, в т.ч. і субстрату породних відвалів на фізіологічні процеси рослин в огляді обґрунтовано доцільність вживання запровадженого нами терміну – «*фітостресорність*» [Шпак та ін., 2016]. На підставі аналізу обґрунтовано актуальність, сформульовано мету та вибрано методи досліджень.

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Зразки породи відбирали на підніжжі південного схилу відвалу Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ) «Червоноградська», розташованої на території Сілецької сільської ради Сокальського району Львівської області, а кам'яновугільний попіл (КВП) з відвалів Добротвірської ТЕС, розташованої в селищі міського типу Добротвір Кам'янка-Бузького району Львівської області.

Еталоном (варіантом з відносно оптимальними екофізіологічними параметрами) вважали систему з умовно чистого субстрату й рослин без впливу едафічних стрес-факторів. Для виготовлення субстратів контролю сіро-чорну неперегорілу та оранжево-червону перегорілу породу відвалу змішували з субстратом еталону в пропорції 9:1 для запобігання ранньої загибелі проростків суданської трави. Субстрати досліду виготовляли із субстрату контролю, обробленого тільки одним чи обома дослідними меліорантами (попелом ТЕС і гуматом Калію).

Актуальну кислотність (рівень рН) субстратів вимірювали іонометрично. Визначення рухомих форм важких металів у попелі Добротвірської ТЕС і субстратах проводили в буферній ацетатно-амонійній витяжці з рН 4,8, а валового вмісту в рослинному матеріалі у витяжці, одержаній мокрим озоленням. Вміст Плюмбуму і Хрому у відповідних витяжках визначали атомно-абсорбційним методом. [Руденко та ін., 2008].

Вміст амонійного Нітрогену в субстратах для вирощування рослин визначали за реакцією з реактивом Неслера. Вміст нітратного Нітрогену визначали методом Грандвалля-Ляжу [Польчина, 2006]. Вміст нітритного Нітрогену визначали за реакцією з реактивом Гріса [Аринушкина, 1970]. Валовий вміст Нітрогену в рослинному матеріалі визначали за методом Піневич-Куркаєвої [Минеев, 2001]. Вміст Фосфору визначали за методом Деніже, а Калію і Кальцію методом полум'яної фотометрії [Аринушкина, 1970; Минеев, 2001].

Вміст хлорофілів у листках рослин, які вирощували в чашках Петрі та мікрокосмах визначали в етанольних екстрактах за [Гавриленко и др., 1975]. Вміст пігментів фотосинтезу в листках суданської трави, яку вирощували в напівпольових умовах визначали згідно методики Ліхтенталера [Lichtenthaler, 1987]. Феофітин *a* визначали згідно [Wintermans et al., 1965].

Сумарний вміст фенольних сполук за [Запромєтов, 1971]. Антоціани визначали за методикою [Егорова и др., 2012].

Біохімічні параметри рослин суданської трави, яку вирощували в умовах чашок Петрі визначали після 21, мікрокосмів – 68, а в напівпольових умовах – 95

діб росту.

Вміст органічного Карбону в субстратах і рослинному матеріалі визначали фотоколориметричним методом Нікітіна в модифікації Антонової і співавторів [Антонова и др., 1984].

Для біотестування здатності суданської трави *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* знижувати фітостресорність субстрату породного відвалу ЦЗФ «Червоноградська», а також виявлення можливих алелопатичних властивостей цього потенційного фітомеліоранта використовували насіння і проростки крес-салату *Lepidium sativum* L. [Руденко та ін., 2008].

Для одержаних нами первинних даних обчислювали середнє арифметичне, стандартне відхилення. Статистичну достовірність відмінностей між варіантами визначали за *t*-критерієм Стьюдента, а для кореляційного аналізу обчислювали коефіцієнти кореляції Пірсона [Лакин, 1990].

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### Морфометричні параметри суданської трави за росту на субстратах оранжево-червоної перегорілої та сіро-чорної неперегорілої породи

Виявлено зменшення площі листків, довжини і маси коренів та незначне підвищення висоти стебла суданської трави за росту на субстраті оранжево-червоної перегорілої породи щодо рослин, які вирощували на умовно чистій ґрунтосуміші еталону. Внесення попелу Добротвірської ТЕС до субстрату перегорілої породи спричинило достовірне збільшення маси коренів і зниження висоти стебла суданської трави за межу стандартного відхилення щодо рослин еталону. Внесення гумату Калію «ГКВ-45» у субстрат перегорілої породи призвело до зниження висоти стебла на фоні збільшення довжини та маси коренів досліджуваних рослин.

Субстрат сіро-чорної неперегорілої породи теж спричинив значне зменшення висоти стебла, площі листків, довжини і маси коренів суданської трави. Додавання попелу ТЕС до субстрату неперегорілої породи спричинило збільшення довжини коренів, їх маси, висоти стебла і площі листків. В свою чергу, внесення гумату Калію позитивно вплинуло на площу листків і масу коренів.

Відмічено, що внесення попелу ТЕС разом з гуматом Калію до субстратів обох різновидів порід істотніше збільшило довжину й масу коренів суданської трави, ніж застосування тільки одного з цих меліорантів (табл. 1).

**Таблиця 1.** Морфометричні параметри суданської трави після 95 діб росту на субстратах породного відвалу за впливу попелу ТЕС і гумату Калію (n=25)

Варіанти	Довжина коренів, см	Суша маса коренів, мг	Висота стебла, см	Площа листків, см <sup>2</sup>
Еталон	19,7±1,1	296±23	49,8±2,0	78,2±4,1
Перегоріла порода (Контроль 1)	10,6±0,6	101±10	55,4±1,7	33,6±1,8
Перегоріла порода+КВП	10,9±0,4	132±10*	50,7±1,7	34,4±1,6
Перегоріла порода+ГК	14,4±0,7*	188±11*	48,1±2,2*	33,7±1,6
Перегоріла порода+КВП+ГК	16,5±0,6*	282±9*	46,7±1,7*	71,8±2,0*
Неперегоріла порода (Контроль 2)	9,4±0,5	54,5±4,9	15,7±0,7	11,5±0,7
Неперегоріла порода+КВП	12,5±0,6*	93,8±7,7*	25,1±2,0*	23,8±1,4*
Неперегоріла порода+ГК	9,7±0,5	78,3±8,7*	16,3±0,8	15,5±0,6*
Неперегоріла порода+КВП+ГК	13,9±0,7*	133±9*	24,4±1,4*	24,6±1,1*

Умовні скорочення (тут і далі): КВП – кам'яновугільний попіл; ГК – гумат Калію.

Примітка «\*» (тут і далі): достовірна відмінність значень субстрату/рослин досліджу (породи з додаванням попелу/гумату) відносно контролю (породи без додавання попелу/гумату) при  $p \leq 0,05$ .

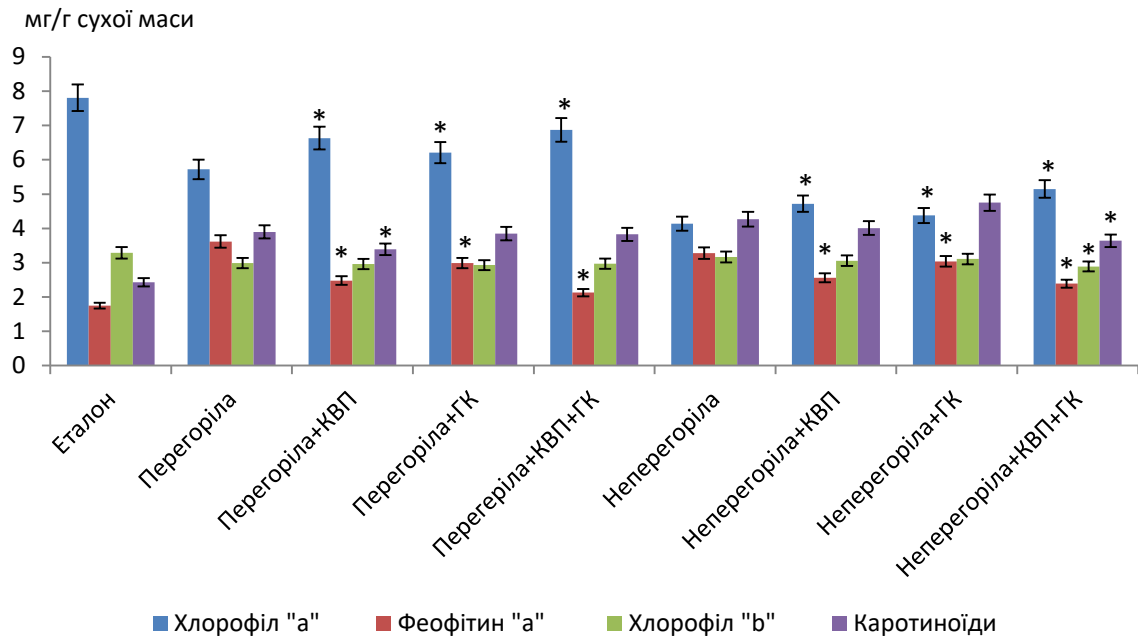
### **Вміст пігментів фотосинтезу в листках суданської трави за росту на субстратах оранжево-червоної перегорілої та сіро-чорної неперегорілої породи**

У листках суданської трави після 95 діб росту на субстраті оранжево-червоної перегорілої породи виявлено значне підвищення вмісту феофітину *a* та суми каротиноїдів на фоні зниження вмісту хлорофілу *a* та хлорофілу *b*. Додавання попелу ТЕС до перегорілої породи знижує вмісту феофітину *a* та суми каротиноїдів на фоні підвищення вмісту хлорофілу *a*. В свою, чергу внесення гумату Калію до перегорілої породи підвищує вміст хлорофілу *a* на фоні зниження вмісту феофітину *a* та суми каротиноїдів.

Застосування гумату Калію сумісно з попелом ТЕС до субстрату перегорілої породи зумовило підвищення вмісту хлорофілу *a* та зниження вмісту феофітину *a* в листках.

У листках суданської трави після 95 діб росту на субстраті сіро-чорної неперегорілої породи виявлено знижений вміст хлорофілу *a*, підвищений вміст феофітину *a* і суми каротиноїдів. Додавання попелу ТЕС призвело до підвищення вмісту хлорофілу *a* на фоні зниження вмісту феофітину *a*. В свою чергу, внесення гумату Калію підвищило вміст хлорофілу *a* і знизило вміст феофітину *a*. Також відмічено, що застосування попелу ТЕС разом з гуматом Калію підвищує вміст хлорофілу *a*, знижує вміст феофітину *a* і суми каротиноїдів на фоні підвищення вмісту хлорофілу *a* та хлорофілу *b* (рис. 1).





**Рис. 1.** Вміст пластидних пігментів у листках суданської трави після 95 днів росту на субстратах породного відвалу за впливу попелу і гумату (n=5), мг/г сухої маси

**Актуальна кислотність субстрату сіро-чорної неперегорілої породи за впливу попелу ТЕС, гумату Калію та вирощування суданської трави**

З'ясовано, що додавання 5 % попелу ТЕС до субстрату неперегорілої породи відвалу ЦЗФ «Червоноградська» спричиняє достовірне підвищення його рН. Також виявлено підвищення рН субстрату неперегорілої породи внаслідок внесення гумату Калію «ГКВ-45».

З'ясовано, що субстрати неперегорілої породи з додаванням обох меліорантів мають вищий рівень рН, ніж із додаванням тільки попелу чи гумату. Також відмічено підвищення рН субстрату породного відвалу після 95 днів росту суданської трави. З'ясовано, що вирощування суданської трави підвищує рН субстрату неперегорілої породи більшою мірою, ніж ґрунтосуміш еталону (табл. 2).

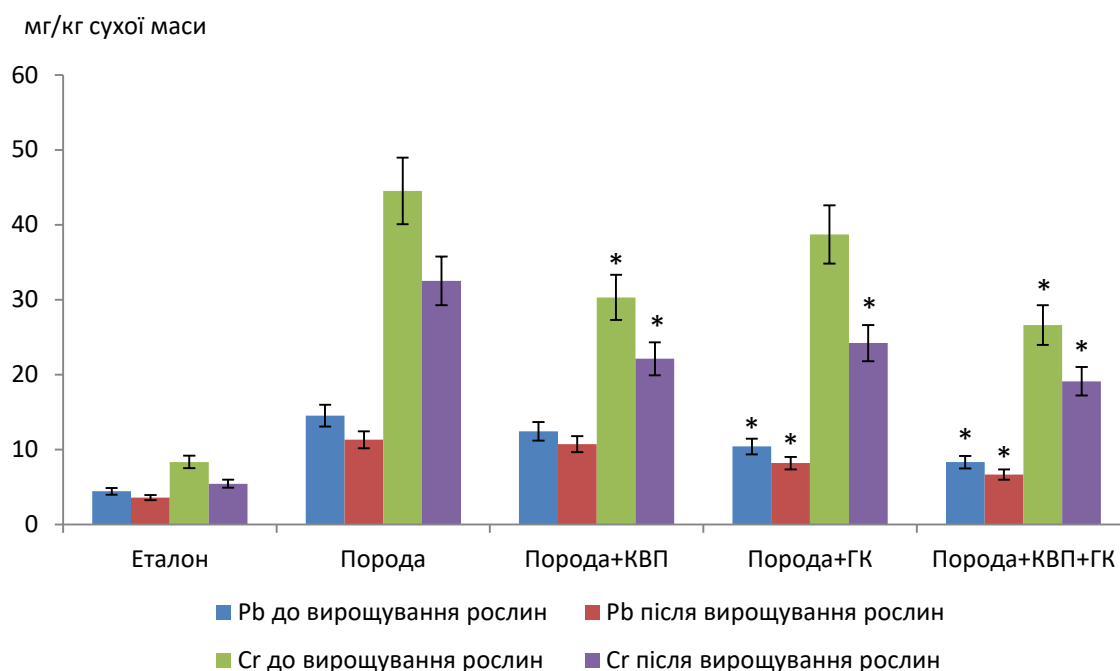
**Таблиця 2.** Актуальна кислотність субстрату неперегорілої породи за впливу попелу ТЕС, гумату Калію та 95 днів вирощування суданської трави (n=5)

Субстрат	До вирощування рослин	Після вирощування рослин
Еталон	6,22±0,06	6,47±0,05
Порода	3,63±0,06	4,23±0,04
Порода+Попіл	4,34±0,05*	4,85±0,05*
Порода+Гумат	3,95±0,05*	4,52±0,06*
Порода+Попіл+Гумат	4,44±0,04*	5,23±0,05*

**Вміст Плюмбуму та Хрому в субстраті сіро-чорної неперегорілої породи та органах суданської трави за впливу попелу ТЕС і гумату Калію**

У субстраті сіро-чорної неперегорілої породи виявлено перевищення ГДК для рухомих форм Плюмбуму та Хрому в ґрунтах, яке складає 6 мг/кг [ДСанПіН, 1999]. Додавання попелу ТЕС до цього субстрату спричинило зниження вмісту Хрому, а гумату Калію – Плюмбуму й Хрому (в субстраті після вирощування суданської трави). Відмічено, що сумісне внесення попелу й гумату ефективніше знижує вміст рухомих форм досліджуваних металів у субстраті, ніж тільки одного з них.

Встановлено, що вирощування суданської трави призводить до зниження вмісту рухомих форм Хрому в субстратах всіх варіантів досліду. Натомість достовірне зниження вмісту Плюмбуму після росту суданської трави виявлено тільки в субстратах породного відвалу без додавання меліорантів та з додаванням лише гумату Калію (рис. 2).



**Рис. 2.** Вміст рухомих форм Плюмбуму та Хрому в субстраті неперегорілої породи за впливу попелу ТЕС, гумату Калію і 95 діб вирощування суданської трави (n=5), мг/кг сухої маси

Виявлено, що внесення гумату Калію в субстрат неперегорілої породи знижує вміст Плюмбуму та Хрому в листках, а попелу ТЕС у листках і стеблах суданської трави. Також відмічено зменшення вмісту цих важких металів у листках, стеблах і коренях досліджуваних рослин за сумісного впливу вищезгаданих меліорантів. Слід зазначити, що сумісне внесення попелу й гумату ефективніше знижує вміст Плюмбу й Хрому в органах суданської трави, ніж тільки одного з них досліджуваних меліорантів (табл. 3).

**Таблиця 3.** Валовий вміст Плюмбуму та Хрому в органах суданської трави після 95 діб росту на субстраті неперегорілої породи за впливу попелу ТЕС і гумату Калію (n=5), мг/кг сухої маси

Хімічний	Субстрат	Орган суданської трави
----------	----------	------------------------

Елемент		Корінь	Стебло	Листок
Pb	Еталон	1,26±0,11	0,78±0,08	0,67±0,07
	Порода	6,44±0,42	1,76±0,14	1,38±0,10
	Порода+Попіл	5,72±0,46	1,25±0,12*	0,68±0,08*
	Порода+Гумат	5,62±0,35	1,41±0,18	0,63±0,05*
	Порода+Попіл+Гумат	4,35±0,32*	1,33±0,12*	0,61±0,05*
Cr	Еталон	4,29±0,32	3,53±0,30	2,68±0,25
	Порода	14,20±1,10	8,44±0,50	11,70±0,70
	Порода+Попіл	12,1±0,9	6,82±0,41*	7,44±0,62*
	Порода+Гумат	12,4±0,9	7,52±0,43	8,34±0,68*
	Порода+Попіл+Гумат	10,4±0,6*	6,12±0,37*	6,63±0,45*

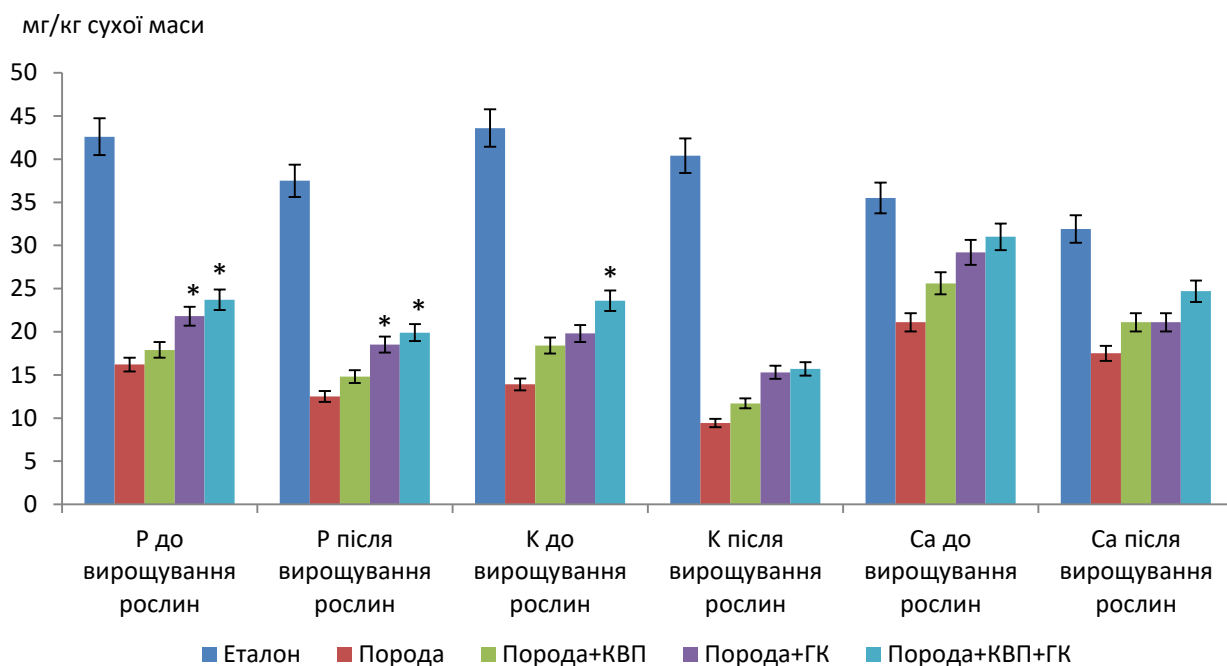
**Вміст Кальцію, Калію та Фосфору в субстраті сіро-чорної неперегорілої породи та органах суданської трави за впливу попелу ТЕС і гумату Калію.** Виявлено знижений вміст рухомих форм Са, К і Р у субстраті неперегорілої породи порівняно з умовно чистою ґрунтосумішшю еталону. Не відмічено достовірного впливу застосування тільки попелу ТЕС чи гумату Калію на вміст рухомого Кальцію в субстратах, але з'ясовано, що сумісне застосування цих меліорантів призводить до зростання валового вмісту Са в коренях, стеблах і листках суданської трави (табл. 4).

**Таблиця 4.** Валовий вміст Фосфору, Калію і Кальцію в органах суданської трави після 95 діб росту на субстраті неперегорілої породи за впливу попелу ТЕС і гумату Калію (n=5), г/кг сухої маси

Хімічний Елемент	Субстрат	Орган суданської трави		
		Корінь	Стебло	Листок
P	Еталон	1,81±0,05	1,46±0,03	2,38±0,05
	Порода	0,99±0,04	0,72±0,05	1,24±0,04
	Порода+Попіл	1,27±0,05*	0,81±0,04	1,64±0,05*
	Порода+Гумат	1,12±0,05	0,83±0,04	1,47±0,04*
	Порода+Попіл+Гумат	1,44±0,05*	1,07±0,05*	2,15±0,07*
K	Еталон	3,72±0,12	6,10±0,16	6,98±0,12
	Порода	1,85±0,20	2,09±0,12	2,70±0,18
	Порода+Попіл	1,91±0,16	2,25±0,17	2,90±0,16
	Порода+Гумат	2,02±0,17	2,79±0,21*	3,18±0,25
	Порода+Попіл+Гумат	2,28±0,19	3,02±0,20*	3,57±0,21*
Ca	Еталон	10,3±0,3	11,8±0,3	8,70±0,32
	Порода	6,22±0,32	7,03±0,40	4,95±0,42
	Порода+Попіл	7,18±0,37	7,65±0,34	5,69±0,40
	Порода+Гумат	6,84±0,45	7,52±0,42	5,54±0,40
	Порода+Попіл+Гумат	8,20±0,45*	9,07±0,53*	6,28±0,40*

В свою чергу, внесення гумату Калію спричинило підвищення валового вмісту Калію в стеблах суданської трави. Застосування цього меліоранту сумісно з попелом ТЕС крім стебел підвищило валовий вміст К і в листках суданської трави, що можна пояснити підвищенням рухомості Калію, який містить попіл Добротвірської ТЕС гуміновими речовинами препарату «ГКВ-45». Також з'ясовано, що внесення тільки гумату Калію чи попелу ТЕС не впливає на вміст

рухомого Калію в субстраті неперегорілої породи, проте виявлено достовірно підвищення його вмісту за внесення обох досліджуваних меліорантів. Вирощування суданської трави протягом 95 днів зменшило вміст рухомого К у субстратах неперегорілої породи тільки за межу стандартного відхилення. (рис. 3).



**Рис. 3.** Вміст рухомих форм Кальцію, Калію і Фосфору в субстраті неперегорілої породи за впливу попелу ТЕС, гумату Калію та 95 днів вирощування суданської трави (n=5), мг/кг сухої маси.

Не відмічено впливу попелу ТЕС на вміст рухомого Фосфору в субстраті неперегорілої породи, але виявлено його достовірне збільшення за впливу гумату Калію та його внесення сумісно з попелом. Вирощування суданської трави спричинило зниження вмісту рухомих форм Фосфору тільки за межу стандартного відхилення. Додавання попелу ТЕС до неперегорілої породи збільшує валовий вмісту Фосфору в коренях і листках суданської трави, а внесення гумату Калію тільки в листках. Відмічено, що сумісне внесення обох досліджуваних меліорантів достовірно підвищує вміст Р у коренях, стеблах і листках суданської трави.

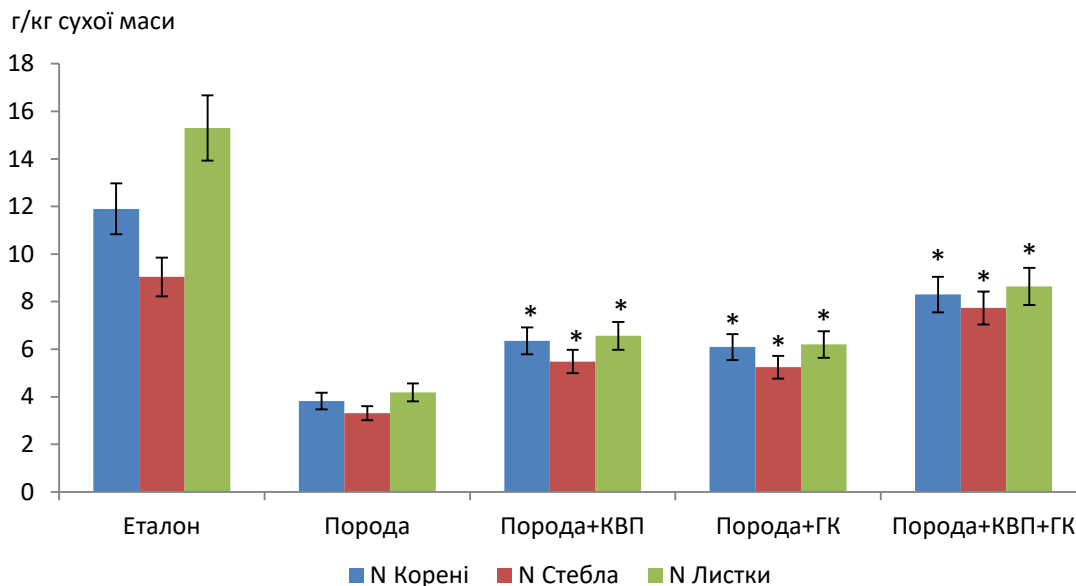
**Вміст Нітрогену та Карбону в субстраті сіро-чорної неперегорілої породи та органах суданської трави за впливу попелу ТЕС і гумату Калію**

Виявлено, що субстрат неперегорілої породи відвалу ЦЗФ «Червоноградська» має знижений вміст нітритного і нітратного Нітрогену щодо умовно чистого субстрату еталону. Додавання попелу ТЕС підвищує вміст цих форм Нітрогену в субстраті породного відвалу. Внесення гумату Калію в субстрат неперегорілої породи достовірно підвищило вміст нітритного і нітратного Нітрогену. Сумісне застосування попелу і гумату підвищило вміст цих двох форм Нітрогену в субстраті породного відвалу більшою мірою, ніж застосування тільки одного з них. Відмічено, що вирощування суданської трави знижує вміст нітратів і нітритів в субстраті більшості варіантів досліду (табл. 5).

**Таблиця 5.** Вміст рухомих форм Нітрогену в субстраті неперегорілої породи за впливу попелу ТЕС, гумату Калію та 95 днів росту суданської трави (n=5)

Вміст Нітрогену в сухій масі	Субстрат	До вирощування рослин	Після вирощування рослин
N-NO <sub>2</sub> , мг/кг	Еталон	10,70±0,30	5,05±0,24
	Порода	2,95±0,24	1,90±0,24
	Порода+КВП	5,14±0,36*	3,19±0,23*
	Порода+ГК	6,51±0,29*	3,91±0,31*
	Порода+КВП+ГК	7,53±0,36*	4,45±0,24*
N-NO <sub>3</sub> , мг/кг	Еталон	12,10±0,30	8,24±0,37
	Порода	3,98±0,29	2,10±0,22
	Порода+КВП	7,08±0,22*	3,07±0,22*
	Порода+ГК	5,86±0,27*	3,98±0,29*
	Порода+КВП+ГК	8,32±0,31*	5,20±0,29*
N-NH <sub>4</sub> , г/кг	Еталон	1,19±0,08	0,92±0,06
	Порода	2,34±0,07	1,89±0,08
	Порода+КВП	1,83±0,06*	1,49±0,07*
	Порода+ГК	2,43±0,04	1,97±0,07
	Порода+КВП+ГК	1,94±0,07*	1,33±0,07*

Також з'ясовано, що субстрат неперегорілої породи відвалу ЦЗФ «Червоноградська» має високий вміст амонійного Нітрогену. За впливу попелу ТЕС відмічено зниження вмісту амонійного Нітрогену в субстраті породного відвалу. Крім того, виявлено статистично достовірне зниження вмісту цієї форми Нітрогену після росту суданської трави в субстратах усіх варіантів експерименту (рис. 4). Відмічено, що внесення попелу ТЕС і гумату Калію в субстрат неперегорілої породи достовірно підвищує валовий вміст Нітрогену в коренях, стеблах і листках суданської трави. Результати наших досліджень свідчать, що сумісне застосування цих меліорантів збільшує вміст цього макроелементу в органах рослин більшою мірою, ніж тільки одного з них.



**Рис. 4.** Валовий вміст Нітрогену в органах суданської трави після 95 діб росту на субстраті неперегорілої породи (n=5), г/кг сухої маси

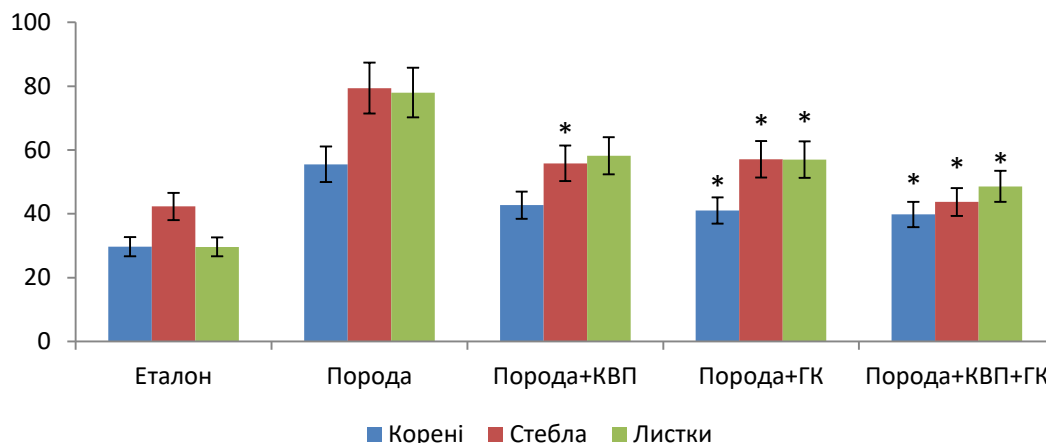
Досліджений нами субстрат неперегорілої породи містив більше органічного Карбону, ніж субстрат еталону. Також виявлено знижений вміст органічного Карбону в листках, стеблах і коренях суданської трави за росту на субстраті породного відвалу відносно рослин, які вирощували на субстраті еталону. Додавання попелу ТЕС і гумату Калію до породи підвищує вміст Карбону в коренях, стеблах і листках досліджуваних рослин. Встановлено, що сумісне застосування цих меліорантів підвищує вміст органічного Карбону в органах суданської трав за росту на субстраті породного відвалу більшою мірою, ніж тільки одного з них. У породі за впливу попелу ТЕС виявлено менше органічного Карбону, ніж без його впливу. В свою чергу, внесення тільки гумату Калію чи його сумісне застосування в поєднанні разом з попелом ТЕС не вплинуло на вміст органічного Карбону в субстраті (табл. 6).

**Таблиця 6.** Вміст органічного Карбону в субстраті неперегорілої породи за впливу меліорантів, а також в органах суданської трави після 95 діб росту на ньому (n=5), г/кг сухої маси

Субстрат	До вирощування рослин	Після вирощування рослин	Органи рослин		
			Листки	Стебла	Корені
Еталон	82±2	95±2	451±6	381±4	352±3
Порода	121±3	130±3	324±4	262±3	211±3
Порода+КВП	104±2*	118±2*	379±4*	304±3*	269±3*
Порода+ГК	122±3	131±3	352±4*	298±3*	248±3*
Порода+КВП+ГК	104±2*	114±2*	417±5*	336±4*	329±3*

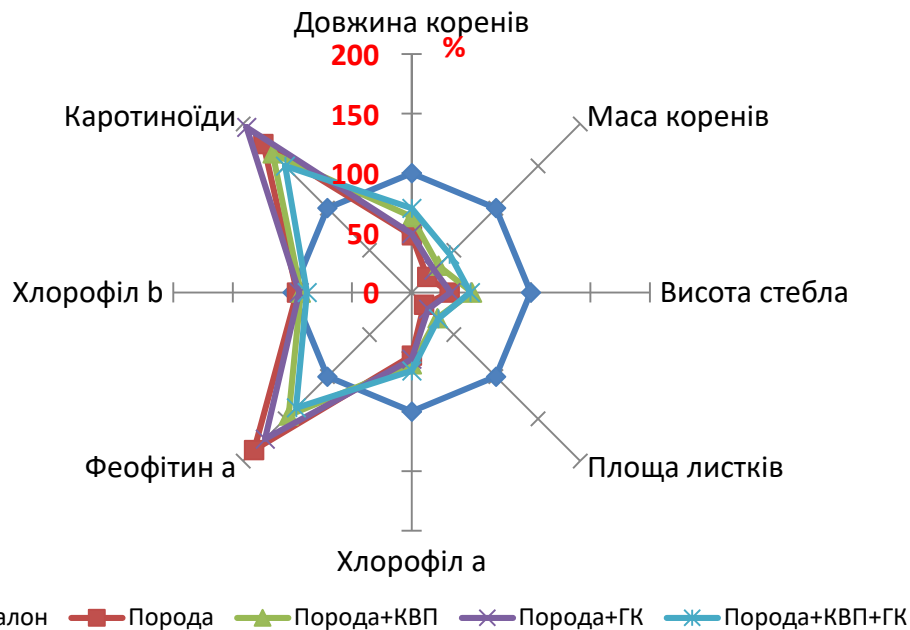
Крім того, в органах суданської трави, яку вирощували на субстраті неперегорілої породи виявлено ще й значне збільшення співвідношення

органічного Карбону до валового вмісту Нітрогену в коренях, стеблах і листках щодо еталону. Додавання попелу ТЕС до субстрату породного відвалу призвело до зниження C/N у коренях і листках. В свою чергу, внесення гумату Калію до субстрату неперегорілої породи спричинило зниження співвідношення цих макроелементів в коренях, стеблах і листках суданської трави. Також результати наших досліджень свідчать, що сумісне внесення обох меліорантів зменшує C/N співвідношення в коренях, стеблах і листках ефективніше, ніж застосування тільки попелу чи гумату (рис. 5).



**Рис. 5.** Відношення вмісту органічного Карбону до вмісту валового Нітрогену (C/N) в органах суданської трави після 95 днів росту на субстраті неперегорілої породи (n=5)

**Вплив попелу і гумату на екофізіологічні параметри суданської трави за росту на субстраті сіро-чорно неперегорілої породи.** Встановлено, що додавання попелу ТЕС і гумату Калію спричиняє оптимізацію екофізіологічних параметрів рослин суданської трави, а саме: маса та довжина коренів, висота стебла, площа листків, вміст основних пігментів фотосинтезу. На пелюстковій діаграмі (рис. 6) за допомогою сторін неправильного багатокутника візуалізовано значне відхилення екофізіологічних параметрів суданської трави від оптимальних значень рівностороннього багатокутника еталону. Зазначимо, що багатокутник, побудований за даними варіанту з внесенням обох дослідних меліорантів за формою ближчий до фігури еталону, ніж багатокутники варіантів з додаванням тільки попелу чи гумату, що свідчить про ефективність їх сумісного застосування та покращення основних екофізіологічних параметрів суданської трави за росту на субстраті сіро-чорно неперегорілої породи.



**Рис. 6.** Вплив попелу і гумату на екофізіологічні параметри суданської трави за росту на субстраті сіро-чорно неперегорілої породи, %

Проведений кореляційний аналіз дозволив пояснити одержані результати через зв'язок актуальної кислотності субстрату сіро-чорної неперегорілої породи, його хімічного складу та екофізіологічними параметрами суданської трави. Зокрема негативна кореляція між рН і вмістом рухомих форм Пліумбуму й Хрому в субстраті узгоджується з літературними даними щодо підвищення рухомості більшості важких металів у кислому середовищі [Carogale et al., 2016]. В свою чергу, негативна кореляція вмісту цих важких металів з морфометричними параметрами суданської трави підтверджує припущення про те, що саме ці фітотоксичні метали є одними з найголовніших едафічних стрес-факторів субстрату породного відвалу.

Підсумовуючи, зазначимо, що рослини суданської трави за росту на субстратах породного відвалу ЦЗФ «Червоноградська» зазнають сильного фітостресу, а внесення кам'яновугільного попелу і гумату Калію оптимізує екофізіологічні параметри цих рослин. Відмічено, що сумісне застосування меліорантів ефективніше, ніж тільки одного з них. Відсутність впливу суданської трави на морфометричні параметри крес-салату свідчить про її потенційну сумісність з іншими видами насінних рослин, що дає можливість використовувати *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.) як ефективний біотест і перспективний фітомеліорант відвалу ЦЗФ «Червоноградська».

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі теоретично узагальнено вплив породних відвалів вуглевидобутку на довкілля і досвід проведення заходів щодо їх фітомеліорації. Також експериментально досліджено вплив кам'яновугільного попелу Добровірської ТЕС, гуматів Калію (вермигумату та «ГКВ-45») на фітостресорність субстратів породного відвалу ЦЗФ «Червоноградська» з



використанням суданської трави *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* для біотестування.

Результати дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Морфометричні параметри суданської трави за росту на субстратах породного відвалу зазнають значного збільшення внаслідок внесення попелу ТЕС і гуматів Калію, а сумісний вплив цих меліорантів ефективніший, ніж роздільний. Зокрема, суха маса коренів після 95 діб росту на перегорілій породі складала близько 101, з додаванням до неї попелу – 132, гумату «ГКВ-45» – 188, а за сумісного впливу обох меліорантів – 283 мг.
2. Вміст і співвідношення пластидних пігментів у листках суданської трави за росту на субстратах породного відвалу зазнають сильних відхилень щодо рослин, які вирощували на умовно чистому субстраті еталону. Додавання попелу ТЕС і гуматів Калію до породи нормалізує ці параметри. Зокрема, рослини після 95 діб росту на перегорілій породі мали співвідношення хлорофіл *a*/хлорофіл *b* близьке до 1,9, з додаванням до неї попелу – 2,2, гумату «ГКВ-45» – 2,1, а за сумісного впливу обох меліорантів – 2,3, що наближається до значення рослин еталону – 2,4.
3. Рослини суданської трави за росту на субстратах породного відвалу зазнають значного підвищення вмісту фенольних сполук щодо рослин еталону. Додавання попелу ТЕС і гуматів Калію знижує вміст цих сполук, а їх сумісний вплив ефективніший ніж роздільний. Зокрема, рослини після 21 доби росту на субстраті неперегорілої породи мали сумарний вміст фенольних сполук близько 860 мг/г сухої маси, за сумісного впливу попелу та вермигумату Калію – 624 мг/г, що значно ближче до значення рослин еталону – 510 мг/г, ніж за впливу тільки попелу – 780 мг/г чи вермигумату – 762 мг/г.
4. Субстрат неперегорілої породи має низьке значення рН – 3,6. Додавання до нього попелу ТЕС підвищує рН до 4,3, гумату Калію «ГКВ-45» – до 4,0, а сумісний вплив обох меліорантів до 4,4.
5. Вміст рухомих форм Плюмбуму – 14 та Хрому – 44 мг/кг у субстраті неперегорілої породи перевищує ГДК для ґрунтів – 6 мг/кг. Внесення гумату Калію «ГКВ-45» знижує вміст Рb до 10 мг/кг, а його сумісне додавання з попелом ТЕС – до 8 мг/кг. Додавання попелу ТЕС до субстрату неперегорілої породи знижує вміст рухомого Хрому з 44 до 30 мг/кг, а в поєднанні з гуматом – до 27 мг/кг.
6. Сумісне додавання попелу ТЕС і гумату Калію «ГКВ-45» до неперегорілої породи знижує валовий вміст Плюмбуму та Хрому в рослинах суданської трави ефективніше, ніж тільки одного з них. Зокрема, корені після 95 діб росту на субстраті цієї породи містили 14,2 мг/кг Хрому, за сумісного впливу обох вищезгаданих меліорантів – 10,4, що менше ніж за впливу тільки попелу – 12,1 чи гумату – 12,4 мг/кг.
7. Субстрат неперегорілої породи характеризується низькими концентраціями рухомих форм Кальцію, Калію та Фосфору на фоні підвищених концентрацій вмісту органічного Карбону та амонійного Нітрогену. Додавання попелу ТЕС і гумату Калію «ГКВ-45» до цієї породи призводить до оптимізації вмісту макроелементів. Зокрема, субстрат неперегорілої породи без додавання меліорантів містив 16,2 мг/кг рухомого Фосфору, з додаванням попелу – 17,9, гумату – 21,8, а за сумісного впливу обох меліорантів – 23,7 мг/кг сухої маси.

8. Внесення у субстрат неперегорілої породи попелу ТЕС і гумату Калію «ГКВ-45» збільшує валовий вміст макроелементів у органах суданської трави. Зокрема, листки рослин після 95 діб їх росту на субстраті неперегорілої породи без додавання вищевказаних меліорантів містили 1,2 г/кг Фосфору, з додаванням попелу – 1,6, гумату – 1,5, а за сумісного впливу обох меліорантів – 2,2 г/кг сухої маси.
9. Кореляційні зв'язки між екофізіологічними параметрами субстрату (актуальною кислотністю і хімічним складом) та рослин (розмір і маса органів, вміст пігментів фотосинтезу і хімічних елементів) суданської трави свідчать про фітостресорність породного відвалу, що значною мірою зумовлена його хімічним складом.
10. Результати досліджень дозволяють рекомендувати застосування кам'яновугільного попелу Добротвірської ТЕС сумісно з гуматами Калію для меліорації породного відвалу ЦЗФ «Червоноградська».

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

### Публікації у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз:

1. **Shpak Y., Rudenko S.** Modeling of chromium effect on ecophysiological parameters of soil-plant system. *Studia Biologica*. 2015. Is. 2. Vol. 11. P. 115-124. **CrossRef, DOAJ, J-Gate** (*Особистий внесок: розробка схеми досліджу, експериментальна робота й обговорення результатів досліджень*).
2. **Шпак Я.,** Запісоцька І., Баранов В., Терек О. Фітотоксичність субстрату породних відвалів кам'яновугільних шахт за впливу попелу теплоелектростанцій і гумату калію. *Traektoriâ Nauki/Path of Science*. 2017. Вип. 3. Т. 3. С. 1-17. **CrossRef, Index Copernicus, DOAJ, J-Gate** (*Особистий внесок: розробка схеми експерименту, аналіз та обговорення результатів досліджень*).
3. **Шпак Я.,** Баранов В., Терек О. Вміст макроелементів і важких металів у породних відвалах і рослинах за впливу меліорантів. *Екологічні науки*. 2018. Вип. 23. Т.4. С.117-123. **Index Copernicus** (*Особистий внесок: експериментальна робота, аналіз та обговорення результатів досліджень*).

### Публікації в наукових фахових виданнях України:

1. **Шпак Я.,** Баранов В., Терек О. Фітостресорність породних відвалів кам'яновугільних шахт за впливу додавання кам'яновугільного попелу. *Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна*. 2016. Вип. 74. С. 127-135. (*Особистий внесок: експериментальна робота, аналіз та обговорення результатів досліджень*).
2. **Шпак Я.,** Запісоцька І., Баранов В., Терек О. Нейтралізація фітотоксичності перегорілої породи відвалів кам'яновугільних шахт попелом ТЕС і гуматом калію. *Науковий вісник Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Серія біологічна*. 2017. Вип. 7. Т. 2. С. 103-108. (*Особистий внесок: розробка схеми досліджу та обговорення результатів досліджень*).
3. **Шпак Я.,** Запісоцька І., Баранов В., Терек О. Фітотоксичність породних

відвалів кам'яновугільних шахт за впливу кам'яновугільного попелу та вермигумату. Біологічні системи. 2017. Вип. 1. Т. 9. С.138-143. (*Особистий внесок: розробка схеми експерименту та обговорення результатів досліджень*).

#### **Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

1. **Шпак Я.,** Баранов В., Терек О. Стійкість сорго трав'янистого (*Sorghum vulgare* var. *sudanense* Hitch.) до умов породних відвалів породних відвалів кам'яновугільних шахт». Матеріали XI Наукової конференції «Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного парку», 10-13 вересня 2015 р. Шацьк. С. 115-116. (*Особистий внесок: експериментальна робота, аналіз та обговорення результатів досліджень*).
2. **Шпак Я. В.,** Баранов В. І., Терек О. І. Вплив біогумату на морфометричні параметри та вміст пігментів фотосинтезу в листках сорго за умов росту на субстратах породних відвалів вугільних шахт. Збірник тез 65-ї науково-технічної конференції «Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем», 24 листопада 2015 р. Львів. С. 131-133. (*Особистий внесок: розробка схеми дослідження, експериментальна робота, аналіз та обговорення результатів досліджень*).
3. **Шпак Я.,** Баранов В., Терек О. Вплив вугільної золи та калій гумату на фітотоксичність породних відвалів кам'яновугільних шахт. Матеріали XII наукової конференції «Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного парку», 8-11 вересня 2016 р. Шацьк. С. 106-107. (*Особистий внесок: розробка схеми дослідження, експериментальна робота, аналіз та обговорення результатів досліджень*).
4. **Шпак Я.,** Баранов В., Терек О. Моделювання впливу золи Добротвірської ТЕС на фітотоксичність породних відвалів вугільних шахт за допомогою сорго трав'янистого. Збірник тез XII Міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів «Молодь і поступ біології», 19-21 квітня 2016 р. Львів. С. 346-347. (*Особистий внесок: розробка схеми експерименту, експериментальна робота, аналіз та обговорення результатів досліджень*).
5. **Шпак Я.,** Запісоцька І., Баранов В., Терек О. Нейтралізація фітотоксичності субстрату породних відвалів кам'яновугільних шахт попелом ТЕС і гуматом калію. Збірник тез XIII міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів «Молодь і поступ біології», 25-27 квітня 2017 р. Львів. С. 146-147. (*Особистий внесок: розробка схеми дослідження та обговорення результатів досліджень*).
6. Роман І., **Шпак Я.,** Баранов В., Терек О. Оптимізація хімічного складу породних відвалів вуглевидобутку попелом ТЕС і гуматом Калію. Збірник тез XV Міжнародної наукової конференції студентів та аспірантів «Молодь і поступ біології», 9-11 квітня 2019 р. Львів. С. 205-206. (*Особистий внесок: розробка схеми експерименту та обговорення результатів досліджень*).

#### **АНОТАЦІЯ**

*Шпак Я. В.* «Фітостресорність породних відвалів кам'яновугільних шахт за впливу попелу ТЕС і гумату Калію». – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 03.00.16 – екологія. – Інститут екології

Карпат НАН України. – Львів, 2020.

Дисертація присвячена дослідженню впливу кам'яновугільного попелу Добротвірської ТЕС і гуматів Калію (вермигумату та «ГКВ-45») на *фітостресорність* (комплексний негативний вплив стрес-факторів на рослинний організм) субстратів неперегорілої та перегорілої породи відвалу вуглевидобутку Центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» з використанням суданської трави *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.) в якості біотесту.

Показано, що субстрат неперегорілої породи пригнічує розміри та масу органів, вміст пластидних пігментів і фенольних сполук суданської трави *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.) більшою мірою, ніж субстрат перегорілої породи. Внесення попелу ТЕС і гуматів Калію до субстратів породного відвалу призводить до нормалізації цих параметрів. Відмічено, що сумісне застосування попелу ТЕС з гуміновими препаратами ефективніше покращує вищевказані морфометричні та біохімічні параметри рослин, ніж тільки одного з них.

Виявлено, що більш фітостресорний субстрат сіро-чорної неперегорілої породи має низьке рН, яке зростає за впливу попелу Добротвірської ТЕС і гумату Калію «ГКВ-45».

З'ясовано, що субстрат неперегорілої породи характеризується високим вмістом рухомих форм Рb та Cr. Внесення гумату Калію «ГКВ-45» призводить до зниження вмісту рухомого Рb, але не змінює вміст Cr. Натомість, внесення попелу не впливає на вміст Рb, але знижує вміст Cr. Відмічено, що сумісне внесення попелу та гумату знижує вміст рухомих форм Рb і Cr у субстраті породного відвалу ефективніше, ніж тільки одного з них.

Виявлено, що субстрат неперегорілої породи характеризується дефіцитом рухомих форм Са, К і Р. Додавання попелу не впливає на їх вміст, а внесення гумату підвищує вміст Р. З'ясовано, що сумісне застосування обох меліорантів збільшує вміст рухомих форм К і Р у субстраті неперегорілої породи. Також показано, що субстрат неперегорілої породи характеризується підвищеним вмістом амонійного Нітрогену щодо умовно чистої ґрунтосуміші, який знижується за впливу попелу ТЕС.

Загалом встановлено, що попіл ТЕС і гумати Калію значно знижують фітостресорність субстратів породного відвалу ЦЗФ «Червоноградська», а їх сумісний вплив ефективніший, ніж їх роздільне використання.

**Ключові слова:** фітостресорність, фітомеліорація, породні відвали вуглевидобутку, кам'яновугільний попіл ТЕС, гумат, *Sorghum*.

## АННОТАЦІЯ

*Шпак Я. В.* «Фитостресорность породных отвалов каменноугольных шахт под влиянием золы ТЭС и гумата Калия» - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук (доктора философии) по специальности 03.00.16 - экология. - Институт экологии Карпат НАН Украины. - Львов, 2020.

Диссертация посвящена исследованию влияния каменноугольной золы Добротворской ТЭС и гуматов Калия (вермигумата и «ГКВ-45») на *фитостресорность* (комплексное негативное влияние стресс-факторов на

растительный организм) субстратов неперегоревшей и перегоревшей породы отвала угледобычи Центральной обогатительной фабрики «Червоноградская» с использованием суданской травы *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.) в качестве биотеста.

Показано, что субстрат неперегоревшей породы снижает размеры и массу органов, содержание пластидных пигментов и фенольных соединений суданской травы в большей степени, чем субстрат перегоревшей породы. Внесение золы ТЭС и гуматов Калия в субстраты породного отвала приводят к нормализации этих параметров. Отмечено, что совместное применение золы ТЭС с гуминовыми препаратами эффективнее улучшает вышеуказанные морфометрические и биохимические параметры, чем их раздельное применение.

Выявлено, что более фитострессорный субстрат серо-черной неперегоревшей породы имеет низкое значение рН, которое растет при воздействии золы Добротворской ТЭС и гумата калия «ГКВ-45».

Выяснено, что субстрат неперегоревшей породы характеризуется высоким содержанием подвижных форм Рb и Сг. Внесение гумата Калия «ГКВ-45» приводит к снижению содержания подвижного Рb, но не изменяет содержания Сг. Внесение золы не влияет на содержание Рb, но снижает содержание Сг. Отмечено, что совместное внесение золы и гумата снижает содержание подвижных форм Рb и Сг в субстрате породного отвала эффективнее, чем внесение только одного из них.

Выявлено, что субстрат неперегоревшей породы характеризуется дефицитом подвижных форм Са, К и Р. Добавление золы не влияет на их содержание, а внесение гумата повышает содержание Р. Установлено, что совместное применение обоих мелиорантов увеличивает содержание подвижных форм К и Р в субстрате неперегоревшей породы. Также показано, что субстрат неперегоревшей породы характеризуется повышенным содержанием аммонийного азота относительно условно чистой почвосмеси, которое снижается при воздействии пепла ТЭС.

В общем выявлено, что зола ТЭС и гуматы Калия значительно снижают фитострессорность субстратов породного отвала ЦОФ «Червоноградская», а их совместное влияние эффективнее, чем их раздельное применение.

**Ключевые слова:** фитострессорность, фитомелиорация, породные отвалы угледобычи, каменноугольная зола ТЭС, гумат, *Sorghum*.

## ABSTRACT

*Shpak Y.* Phytostressority of coal mines waste dumps under the effect of ash of TPP and potassium humate. – Manuscript.

Thesis for PhD degree in biology by specialty 03.00.16 – ecology. – Institute of Ecology of the Carpathians, Lviv – 2020.

The thesis presents researches results about effect of coal fly ash, potassium humates (of vermicompost and preparate 'ГКВ-45') to reduce substrates *phytostressority* (complexive negative impact on plant organism) of Central Coal Enreacment Factory 'Chervonohradska' with using of Sudan grass *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.) in role of biotester. For the first time researched efficiency and compatibility of coal ash with humates for amelioration of mining rock dumps. Also, performed the correlation analysis of macronutrients and heavy metals

mobile form contents in the substrate of the Chervonograd industrial coal mining region with their total contents in the organs of plants with C<sub>4</sub>-type of photosynthesis (Sudan grass) under the effect of controlled experimental conditions. In addition, found high content of ammoniacal Nitrogen in the gray-black unburned rock substrate of the rock dump of Central Coal Enreachment Factory 'Chervonohradska'.

Proved that substrate of unburned rock depress ecophysiological parameters of Sudan grass more than substrate of burned rock. The introduction of coal ash and humates into rock dump substrates caused normalization of morphometric parameters, plastids pigment content and phenolic compounds in Sudan grass plants. Established that the combined use of TPP ash with humate preparations improves the abovementioned ecophysiological parameters of plants more efficiently than only one of these ameliorants.

Observed that more phytostressive unburned rock substrate has a low pH which is significantly increased under the effect of coal fly ash from Dobrotvir TPP and potassium humate 'TKB-45'. Also found that the unburned rock substrate contains high concentrations of mobile Plumbum and Chromium. Introduction of potassium humate 'TKB-45' decreased content of Pb content, but did not change Cr content. On the other hand, the introduction of ash did not lead to changes in the Pb content, but reduced the Cr content. At the same time, the addition of ash together with humate significantly reduced the content of both researched heavy metals. The addition of ash to the rock decreases the content of Pb and Cr in the stems and leaves, and the introduction of humate reduced the content of Pb and Cr only in the leaves. The combined use of coal fly ash and humate reduced the content of Pb and Cr in the roots, stems, and leaves of Sudan grass, which was grown on unburned rock substrate to a greater extent than the introduction of ash or humate alone.

Found that the unburned rock substrate contains low concentrations of mobile Calcium, Potassium and Phosphorus. The addition of ash also does not change the content of these macronutrients in the rock dump substrate, and the application of humate significantly increases only the mobile Phosphorus content. Proved that the use of ash in combination with humate leads to increase in the content of mobile forms K and P in the substrate of the unburned rock. Also found that unburned rock substrate contains high concentrations of ammonium Nitrogen. The addition of coal ash reduced its content. Also noted that unburned rock substrate after the cultivation of Sudan grass does not cause on the morphometrical parameters of garden cress *Lepidium sativum* L. which were used as biotester of its possible allelopathic properties.

In general, proved that coal ash and potassium humate significantly reduce the phytostressority of the rock dump substrates, and their combined effect is more effective than just one of them.

**Key words:** phytostressority, phytomelioration, coal mining rock dumps, coal fly ash, humate, *Sorghum*.