

31. Zhukov A. V. The spatial variability of pedozem mechanical impedance / A. V. Zhukov, G. A. Zadorozhnaya // Biological Bulletin of Bogdan Chmelnytskyi Melitopol State Pedagogical University. – 2013. – № 3(1). – P. 34–49 (in Russian).
32. Zhukov A. Spatial heterogeneity of mechanical impedance of atypical chernozem: the ecological approach / Alexander Zhukov, Galina Gadorozhnaya // Ekologia (Bratislava). – 2016. – Vol. 35, № 3. – P. 263–278.

Задорожная Галина. Почвенные экоморфы как форма адаптации к условиям биогеоценоза. Исследуется пространственная вариабельность твердости чернозема обыкновенного по регулярной сетке (105 точек). Произведен экоморфический анализ растительности в каждой ячейке полигона. Кластерный анализ, проведенный на основе полученных статистических данных, позволил распределить имеющиеся профили изменения твердости почвы в три кластера с характерной для них относительно однотипной динамикой свойства. Экологическое содержание разделения участков почвы на кластеры изучено с помощью дискриминантного и дисперсионного анализов. Статистическая значимость изменений внешних признаков, сопряженных с пространственной неоднородностью почвенных участков, принадлежащих к разным кластерам, дает возможность их содержательного описания и подтверждает формирование экологического характера выявленных почвенных структур – экоморф.

Ключевые слова: твердость почвы, морфологические элементы, экологические факторы.

Задорожна Галина. Ґрунтові екоморфи як форма адаптації до умов біогеоценозу. Досліджено просторову варіабельність твердості чорнозему звичайного за регулярною сіткою (105 точок). Проведено екоморфичний аналіз рослинності. Кластерний аналіз, виконаний на основі отриманих статистичних даних, дав підставу розподілити наявні профілі зміни твердості ґрунту в три кластери з характерною для них відносно однотипною динамікою властивості. Екологічний зміст поділу ділянок ґрунту на кластери вивчено за допомогою дискримінантного й дисперсійного аналізу. Статистична значимість змін зовнішніх ознак, пов'язаних із просторовою неоднорідністю ґрунтових ділянок, що належать до різних кластерів, уможливило їх змістовий опис та підтверджує формування екологічного характеру виявлених ґрунтових структур – екоморф.

Ключові слова: твердість ґрунту, морфологічні елементи, екологічні фактори.

Стаття надійшла до редколегії
26.02.2017 р.

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

**Ярослав Шпак,
Ірина Запісоцька,
Володимир Баранов,
Ольга Терек**

Нейтралізація фітотоксичності перегорілої породи відвалів кам'яновугільних шахт попелом ТЕС і гуматом калію

Досліджено вплив кам'яновугільного попелу з Добротвірської теплоелектростанції та гумату калію «ГКВ-45» на фітотоксичність субстрату перегорілої породи з відвалів кам'яновугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району. Для біотестування використали суданську траву *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.).

Виявлено збільшення площі листової поверхні, довжини й маси коренів зі зменшенням висоти стебла за додавання гумату до субстрату перегорілої породи. Застосування лише попелу не спричинило достовірного впливу на досліджені морфометричні параметри, але у варіанті з його внесенням разом із гуматом простежено підсилення стимуляційного впливу останнього на масу коренів і площу листової поверхні.

Установлено, що внесення попелу призводить до підвищення вмісту хлорофілу *a* з одночасним зниженням вмісту феофітину *a* у листках суданської трави. Додавання гумату призвело до підвищення вмісту хлорофілу *a* і зниження феофітину *a*. Застосування попелу разом із гуматом підвищило вміст хлорофілу *a* та знизило вміст феофітину *a* більшою мірою, ніж унесення лише попелу.

Збільшення розмірів листків і коренів *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*, підвищення вмісту хлорофілу *a* у поєднанні зі зменшенням висоти стебла, зниженням вмісту феофітину *a* свідчить про зменшення стресового

впливу на рослини. Показано, що внесення кам'яновугільного попелу разом із гуматом калію нейтралізує фітотоксичність породних відвалів ефективніше, ніж застосування лише попелу.

Ключові слова: фітотоксичність, суданська трава, перегоріла порода відвалів кам'яновугільних шахт, кам'яновугільний попіл, гумат калію.

Постановка наукової проблеми та її значення. На території Червоноградського гірничопромислового району (ЧГПР) розміщені відвали перегорілої породи кам'яновугільних шахт [1], що утворюється внаслідок пірометаморфозу свіжовідсипаної породи. Пил і стічні води, які з них виділяються, негативно впливають на здоров'я людей та прилеглі екосистеми через високий вміст токсичних металів і металоїдів навіть після завершення перегорання свіжовідсипаної породи [10; 20].

Аналіз досліджень цієї проблеми. Фітомеліорація хімічно забруднених територій із поступовим ґрунтоутворенням приводить до нейтралізації чи зменшення рухомості токсичних сполук [12; 15]. Однак субстрати перегорілої породи ЧГПР малоприсадибні для росту більшості покритонасінних рослин через несприятливий гранулометричний склад, низький рівень рН, високий вміст токсичних металів і дефіцит поживних речовин [1; 7].

Унаслідок спалювання кам'яного вугілля на теплоелектростанціях утворюється кам'яновугільний попіл, що являє собою дрібнодисперсну фракцію золи, яка здатна легко поширюватися вітром на значні відстані. Він забруднює навколишнє середовище через підвищений вміст металів і металоїдів [22; 24]. Зокрема, попіл Добротвірської теплоелектростанції (ДТЕС) містить Al_2O_3 – 21,79 %; Fe_2O_3 – 11,17 %; Ni – 111,44 г/т; Cd – 3,99 г/т; Cu – 102,29 г/т; Pb – 70,88 г/т; Zn – 212,33 г/т; Mn – 1986,65 г/т; Ge – 102,17 г/т [2]. Завдяки лужній реакції, кам'яновугільний попіл ДТЕС використовують для зниження кислотності породних відвалів шахт [13; 24]. Невелика відстань і хороше транспортне (зокрема залізничне) сполучення між зольними відвалами Добротвірської ДТЕС і породними відвалами ЧГПР дають змогу провести економічно доцільну нейтралізацію кислотності останніх [2; 7].

Гумати різного походження використовують для зменшення рухомості та зв'язування важких металів забруднених територій у комплексні сполуки [5; 19; 25]. Однак унесення лише гуматів не здатне суттєво підвищити рН кислих ґрунтів, тому постає потреба використовувати їх у поєднанні з кам'яновугільним попелом ДТЕС.

Мета статті – біотестування здатності сумісного застосування попелу ДТЕС і гумату калію «ГКВ-45» нейтралізувати фітотоксичність субстрату перегорілої породи відвалів кам'яновугільних шахт ЧГПР.

Матеріали й методи дослідження. Перегорілу породу оранжево-червоного кольору відбирали з відвалів Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ), розміщеної в Сокальському районі Львівської області, а кам'яновугільний попіл (КВП), акумульований під час роботи повітроочисного обладнання, – із відвалів ДТЕС, розміщеної в смт Добротвір Кам'янка-Бузького району Львівської області. Для дослідження впливу КВП на кислотність субстрату перегорілої породи вимірювали рН її 10-відсоткової водної витяжки без додавання та з додаванням 5-відсоткової КВП за масою на приладі «Иономер универсальный ЭВ-74» у 5-кратній повторюваності за температури води +18,5°C і рН дистильованої води 5,5. Таку концентрацію використовували для запобігання перевищенню ГДК токсичних металів [27] у субстратах при додаванні КВП [2].

Для дослідження впливу гуматів на фітотоксичність субстрату перегорілої породи використовували гумат калію «ГКВ-45» виробництва ТзОВ «ПАРК» (Україна, Львівська область), який, за даними виробника, має такий склад: гумінові речовини – 42 %; Карбон загальний – 166,3 г/л; N – 2,4 г/л; P_2O_5 – 0,4 г/л; K_2O – 69,3 г/л; Mn – 197,99 мг/л; Fe – 132,04 мг/л; Cu – 3,17 мг/л; Zn – 19,69 мг/л; B – 2,28 мг/л; Co – 3,45 мг/л. Цей меліорант випробовували у вигляді 0,5-відсоткового розчину.

Для біотестування використовували суданську траву *S. bicolor* subsp. *drummondii* [7], яку вирощували в горщиках об'ємом 2 л на території ботанічного саду ЛНУ ім. І. Франка з липня по жовтень 2016 р. Для цього в п'ятикратній повторюваності висаджували по 15 чотирихдбових проростків, пророщених у темряві за температури 23°C.

У якості еталона для порівняння використовували рослини, вирощені за впливу сприятливих едафічних факторів ґрунтосуміші з торфу, листового перегнійного ґрунту та піску у співвідношенні 1:2:1. За контроль слугували рослини, вирощені на субстраті перегорілої породи й вищевказаної ґрунтосуміші у співвідношенні 9:1. Дослідні рослини вирощували на субстраті перегорілої породи з

роздільним і сумісним додаванням 5 % за масою кам'яновугільного попелу (КВП) та 150 мл 0,5-відсоткового розчину гумату калію (ГК).

Субстрати для дослідження готували за такою схемою:

- 1) еталон: ґрунтосуміш (1500 г) + вода (150 мл);
- 2) контроль: порода (1350 г) + ґрунтосуміш (150 г) + вода (150 мл);
- 3) порода (1200 г) + ґрунтосуміш (150 г) + КВП (150 г) + вода (150 мл);
- 4) порода (1350 г) + ґрунтосуміш (150 г) + ГК (150 мл);
- 5) порода (1200 г) + ґрунтосуміш (150 г) + КВП (150 г) + ГК (150 мл).

Морфометричні параметри рослин визначали на 95-ту добу росту. Уміст хлорофілів установлювали наступної доби у витяжках із листків, гомогенізованих 96-відсотковим етанолом за [14], а феофітину *a* – після підкислення витяжки двома краплями 10-відсоткового розчину HCl за [26].

Математичну обробку даних здійснювали за допомогою програми MS Excell 2007. Для перевірки статистично достовірних відмінностей між варіантами експерименту розраховували *t*-критерій Стьюдента [4; 7].

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Виявлено, що додавання 5 % кам'яновугільного попелу за масою (з рН $7,4 \pm 0,2$) достовірно (при $P \leq 0,05$ та $n=5$) підвищує рН субстрату перегорілої породи з $5,4 \pm 0,1$ до $6,1 \pm 0,2$. Цю закономірність можна пов'язати з наявністю в попелі з ДТЕС кальцію, катіони якого зв'язують аніони оксидів сульфуру. За даними [2], узятий нами попіл містив близько 4,5 % CaO.

За росту *S. bicolor* subsp. *drummondii* на субстраті перегорілої породи спостерігали зменшення площі листків, довжини й маси коренів у поєднанні зі збільшенням висоти стебла відносно еталона. Додавання гумату достовірно збільшило довжину та масу коренів у поєднанні зі зменшенням висоти стебла. Унесення попелу не спричинило статистично достовірного впливу на досліджені морфометричні параметри суданської трави. Однак застосування гумату разом із попелом статистично достовірно збільшило довжину й масу коренів, площу листків разом зі зменшенням висоти стебла. Виявлено, що площа листків і маса коренів рослин, вирощених на субстратах із сумісним додаванням гумату й попелу, більша, ніж у вирощених на субстратах із додаванням лише гумату (табл.1; рис. 1).



Рис. 1. Повітряно-сухі корені *S. bicolor* subsp. *drummondii* за росту на субстраті перегорілої породи (1) із додаванням кам'яновугільного попелу (2), гумату калію (3) й обох меліорантів разом (4)

Відомо, що вміст пігментів фотосинтезу – це наслідок фізіологічних процесів у рослинному організмі й тому зміни щодо контрольних значень використовують для біоіндикації впливу стрес-факторів і заходів щодо їх зниження [6; 8; 9; 11; 17]. Результати цього дослідження засвідчили знижений вміст хлорофілу *a* разом із підвищеним вмістом феофітину *a* та зменшенням співвідношень: хлорофіл *a/b* і хлорофіл *a*/феофітин *a* у листках *S. bicolor* subsp. *drummondii* за росту на субстраті перегорілої породи відносно еталона. Додавання попелу до субстрату перегорілої породи достовірно

Таблиця 1

Морфометричні параметри *S. bicolor* subsp. *drummondii* на 95-ту добу росту за додавання кам'яновугільного попелу (КВП) та гумату калію (ГК) до субстрату перегорілої породи (n=25)

Варіант експерименту	Висота стебла, см	Площа листків, см ²	Довжина коренів, см	Маса сухих коренів, мг
Еталон	49,8±2,0	78,2±4,1	19,7±1,1	296±23
Порода	55,4±1,7	33,6±1,8	10,6±0,6	101±10*
Порода + КВП	50,7±1,7	34,4±1,6	10,9±0,4	132±10
Порода + ГК	48,1±2,2*	33,7±1,6	14,4±0,7*	188±11*
Порода + КВП + ГК	46,7±1,7*	71,8±2,0*	16,5±0,6*	282±9*

Примітка. «*» Тут і далі – достовірна відмінність значень параметрів рослин за росту на субстраті перегорілої породи з додаванням меліорантів відносно значень рослин, що росли на субстраті перегорілої породи без додавання меліорантів, при $p (*) \leq 0,05$.

підвищило вміст хлорофілу *a* у поєднанні зі зниженням умісту феофітину *a* у листках, що спричинило достовірне збільшення співвідношень хлорофіл *a/b* і хлорофіл *a*/феофітин *a* щодо контролю. Унесення гумату достовірно підвищило вміст хлорофілу *a* і знизило вміст феофітину *a*, що спричинило достовірне збільшення співвідношень хлорофіл *a/b* і хлорофіл *a*/феофітин *a*. Установлено, що застосування попелу ДТЕС разом із гуматом «ГКВ-45» підвищує вміст хлорофілу *a* і водночас знижує вміст феофітину *a* більшою мірою, ніж додавання лише одного з досліджуваних меліорантів (табл. 2; рис. 2).

Таблиця 2

Уміст пігментів фотосинтезу в листках 96-добових рослин *S. bicolor* subsp. *drummondii* за додавання меліорантів до субстрату перегорілої породи (n=5), мг/г сухої маси

Варіант	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіли <i>a+b</i>	Феофітин <i>a</i>
Еталон	7,81±0,05	3,29±0,08	11,1±0,1	1,75±0,03
Порода	5,72±0,06	2,99±0,09	8,71±0,10	3,62±0,10
Порода + КВП	6,63±0,04*	2,96±0,07	9,58±0,07*	2,48±0,06*
Порода + ГК	6,21±0,08*	2,93±0,07	9,14±0,14	2,99±0,02*
Порода + КВП + ГК	6,87±0,04*	2,97±0,06	9,84±0,09*	2,13±0,12*

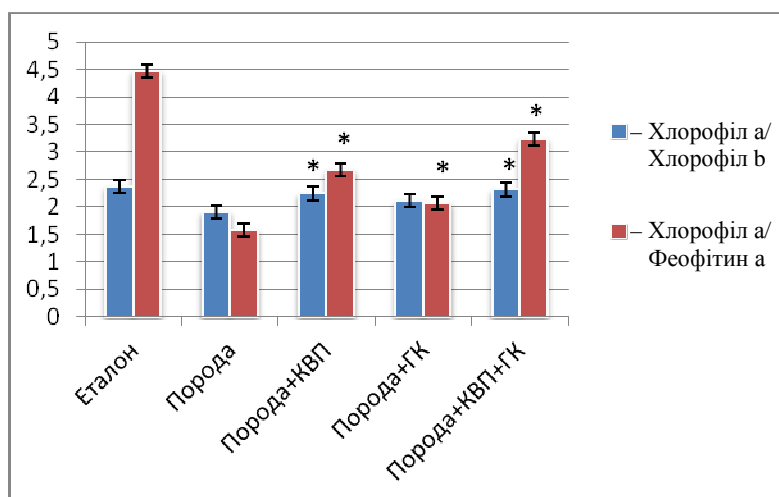


Рис 2. Співвідношення вмісту пігментів фотосинтезу в листках суданської трави за додавання меліорантів до субстрату перегорілої породи (n=5)

Збільшення значень морфометричних параметрів *S.bicolor* subsp. *drummondii* [3; 7; 12] та підвищення вмісту хлорофілу *a* [6; 8; 9; 11; 17; 23] разом зі зниженням вмісту феофітину *a* [16; 18; 21] у листках є ознаками зниження фітотоксичності. Звідси можна припустити, що підвищення рН субстрату перегорілої породи, завдяки внесенню попелу ДТЕС, привело до зменшення рухомості токсичних металів [5; 19; 25], а внесення гумату «ГКВ-45» утворило з ними деяку кількість малорухомих комплексних сполук й удобрило субстрат необхідними для рослин макроелементами.

Висновки й перспективи подальших досліджень. Застосування кам'яновугільного попелу ДТЕС для нейтралізації фітотоксичності перегорілої породи відвалів ЧГПР у поєднанні з гуматом калію «ГКВ-45» ефективніше, ніж застосування лише попелу. У перспективі доцільно провести польові дослідження з доведенням *S.bicolor* subsp. *drummondii* до генеративної стадії й перевірки схожості утвореного насіння.

Джерела та література

1. Баранов В. І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ «Львівсистеменерго» як суб'єкта озеленення / В. І. Баранов // Вісник Львівського університету. – Серія біологічна. – 2008. – № 46. – С. 172–178.
2. Баранов В. Токсикологічний аналіз води дренажних каналів і золи золівідвалів Добротвірської ТЕС / В. Баранов, А. Баня, Л. Боднар // Вісник Львівського університету. – Серія біологічна. – 2014. – № 65. – С. 238–244.
3. Порівняльний морфометричний аналіз рослин сорго алепського за умов росту на субстратах породного відвалу з додаванням нетрадиційних добрив / З. Бешлей, С. Бешлей, В. Баранов, О. Терек // Modern Phytomorphology. – 2015. – № 6. – С. 347–348.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие для биол. спец. вузов / Г. Ф. Лакин. – Москва : Высш. шк., 1990. – 352 с.
5. Макеева Н. А. Оценка продукционных процессов овса в условиях внесения гуматов калия и натрия на породный отвал / Н. А. Макеева // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 237.
6. Павлова Л. М. Состояние фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных растений в городской среде / Л. М. Павлова, И. М. Котельникова, Н. Г. Куимова // Вестник РУДН. – Серия : Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 2.
7. Шпак Я. Фітостресорність породних відвалів кам'яновугільних шахт за впливу додавання кам'яновугільного попелу / Я. Шпак, В. Баранов, О. Терек // Вісник Львівського університету. – Серія біологічна. – 2016. – № 74. – С. 127–135.
8. Amuthavalli P. Effect of Salt Stress on the Growth and Photosynthetic Pigments of Pigeon Pea (*Cajanus cajan*) / P. Amuthavalli, S. Sivasankaramoorthy // J App Pharm Sci. – 2012. – № 2 (11). – P. 131–133.
9. Ashraf M. Photosynthesis under stressful environments: An overview / M. Ashraf, P. Harris // Photosynthetica. – 2013. – № 51. – P. 163–190.
10. Chesnokov B. V. Experience in technogenic mineralogy: 15 years on burnt dumps of underground and opencast coal mines and concentrating plants of the southern Urals / Chesnokov // Ural'skii Mineralogicheskii Sbornik. – 1999. – № 9. – P. 138–167.
11. Chloroplast pigments as indicators of lead stress / [S. de S. Gomes, V. de Lima, A. de Souza et al.] // Eng. Agríc., Jaboticabal. – 2014. – № 34 (5). – P. 877–884.
12. Firpo B. A brief procedure to fabricate soils from coal mine wastes based on mineral processing, agricultural, and environmental concepts / B. Firpo, J. Filho, I. Schneider // Minerals Engineering. – 2015. – № 76. – P. 81–86.
13. Gupta A. Augmenting the Stability of OB Dump by Using Fly Ash: A Geo Technical Approach to Sustainably Manage OB Dump at Jharia Coalfield, India / A. Gupta, B. Paul // Current World Environment. – 2016. – №11 (1). – P. 204–211.
14. Lichtenthaler H. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes / H. Lichtenthaler // Methods in Enzymology. – 1987. – №148. – P. 350–382.
15. Malti D. Ecorestoration Of Waste Dump By The Establishment Of Grass-Legume Cover / D. Malti, S. Malti // IJSTR. – 2014. – № 3 (3). – P. 37–41.
16. Nath K. Effect of chromium and tannery effluent toxicity on metabolism and growth in cowpea (*Vigna sinensis* L. Saviex Hassk) seedling / K. Nath, D. Singh, S. Shyam // Res. Environ. Life Sci. – 2008. – №1 (13). – P. 91–94.
17. Offord C. Growing up or growing out ? How soil pH and light affect seedling growth of a relictual rainforest tree / C. Offord, P. Meagher, H. Zimmer // AoB PLANTS. – 2014. – № 6. – P. 011.
18. Olivera H. Chromium as an Environmental Pollutant: Insights on Induced Plant Toxicity / H. Olivera // Hindawi Publishing Corporation Journal of Botany. – 2012.

19. Perminova I. Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice / I. Perminova, K. Hatfield, N. Hertkorn. – New York : Springer Science & Business Media, 2006. – 506 p.
20. Sharygin V. V. Mayenite-supergroup minerals from burned dump of the Chelyabinsk Coal Basin / V. V. Sharygin // Russian Geology and Geophysics. – 2015. – № 56. – P. 1603–1621.
21. Singh H. Chromium toxicity and tolerance in plants / H. Singh, P. Mahajan, S. Kaur // Environ Chem Lett. – 2013. – №11. – P. 229–254.
22. Singh R. Value added utilization of fly ash- prospective and sustainable solutions / R. Singh, N. Gupta // Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research. – 2013. – № 11. – P. 229.
23. Smolikova G. Chlorophylls and Carotenoids in Seed Tolerance to Abiotic Stressors / G. Smolikova, N. Laman, O. Boriskevich // Russ J Plant Physiol. – 2011. – № 58. – P. 965–973.
24. Srivastava A. Amelioration of coal mine spoils through fly ash application as liming material / A. Srivastava, P. Chhakar // J. Sci. Ind. Res. – 2000. – № 59. – P. 309–313.
25. Tsang D. Residual leachability of CCA-contaminated soil after treatment with biodegradable chelating agents and lignite-derived humic substances / D. Tsang, W. Olds, P. Weber // Journal of Soils and Sediments. – 2013. – №13. – P. 895–905.
26. Wintermans J. Spectrophotometric characteristics of chlorophyll 'a' and 'b' and their pheophytins in ethanol / J. Wintermans // Biochimica et Biophysica Acta. – 1965. – №109 (2). – P. 448–453.
27. Державні санітарні правила та норми [Електронний ресурс] // Державна санітарно-епідеміологічна служба України. – 1999. – Режим доступу : <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=4010>.

Шпак Ярослав, Записоцкая Ирина, Баранов Владимир, Терек Ольга. Нейтрализация фитотоксичности перегоревшей породы отвалов каменноугольных шахт золой ТЭС и гуматом калия. Исследуется влияние каменноугольной золы Добротворской теплостанции и гумата калия «ГКВ-45» на фитотоксичность субстрата перегоревшей породы отвалов каменноугольных шахт Червоноградского горнопромышленного района. Для биотестирования использовали суданскую траву *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.). Наблюдается увеличение площади листьев, длины и массы корней вместе с уменьшением высоты стебля при добавлении гумата к субстрату. Применение только золы не имело достоверного влияния на анализируемые морфометрические параметры. Однако добавление гумата вместе с золой достоверно повысило значение всех исследованных морфометрических параметров, а влияние на массу корней и площадь листьев было более эффективным, чем применение только золы.

Установлено, что внесение только золы повышало содержание хлорофилла *a* и одновременно снижало содержание феофитина *a* в листьях *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii*. Добавление только гумата калия приводило к повышению содержания хлорофилла *a* в сочетании со снижением содержания феофитина *a*. Применение золы вместе с гуматом повысило содержание хлорофилла *a* и одновременно снизило содержание феофитина *a* эффективней, чем внесение только золы.

Увеличение размеров листьев и корней, повышение содержания хлорофилла *a* в сочетании с уменьшением высоты стебля, снижением содержания феофитина *a* свидетельствует об уменьшении стрессового влияния на растения. Отмечается, что внесение каменноугольной золы вместе с гуматом калия снижает фитотоксичность породных отвалов эффективней, чем применение только золы.

Ключевые слова: фитотоксичность, суданская трава, перегорелая порода отвалов каменноугольных шахт, каменноугольная зола, гумат калия.

Shpak Yaroslav, Zapisotska Iryna, Baranov Volodymyr, Terek Olha. Neutralization of Phytotoxicity of Burned Rock of Coal Mines' Dumps by Fly Ash From TPP and Potassium Humate. Studied effect of coal fly ash from Dobrotvir TPP and potassium humate «ГКВ-45» on phytotoxicity of burned rock from coal mines dumps of Chervonograd mining region. For biotesting used Sudan grass *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.).

Observed magnification of leaves area, length and mass of roots with reduction of stem height by addition of humate to the substrate of burned rock. Application only of the fly ash did not cause significant effect on studied morphometric parameters. But in option with presence of fly ash in substrate observed strengthening of stimulation effect of humate on the mass of roots and leaves area.

Found that application of fly ash increase content of chlorophyll *a* and simultaneously decrease content of pheophytin *a* in the leaves of Sudan grass. Addition of humate caused increasing content of chlorophyll *a* and reducing content of pheophytin *a*. Application of fly ash with humate increased content of chlorophyll *a* and reduced content of pheophytin *a* more effective than addition only fly ash.

Increasing of leaves and roots sizes, increasing content of chlorophyll *a* coupled with decreasing of stem height, content of pheophytin *a* indicates reducing of stress effect on plants. Noticed that application of coal fly ash with potassium humate neutralize phytotoxicity of rock from coal mines' dumps more effective than application only fly ash.

Key words: phytotoxicity, Sudan grass, burned rock of coal mines dumps, coal fly ash, potassium humate.

Стаття надійшла до редколегії
26.02.2017 р.