

© С.А. Красовський¹, О.С. Ковров¹, І.І. Клімкіна¹

¹ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ВУГІЛЬНИХ ВІДВАЛІВ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

©S. Krasovskyi¹, O. Kovrov¹, I. Klimkina¹

¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

PHYTOREMEDIATION OF COAL DUMPS OF THE WESTERN DONBASS

Мета. Визначення фізико-хімічних показників породної маси вугільних відвалів шахти «Павлоградська» та оцінка ефективності процесів фітореємедіації вугільних відвалів гірничодобувних підприємств.

Методика дослідження полягає у комплексному аналізі таких фізико-хімічних показників ґрунту та глини як: рН, питома електропровідність ґрунту (ЕС), валовий вміст важких металів, інших токсичних елементів та рідкісних металів. Для інтактної проби ґрунту було визначено додатково кількісний вміст поживних речовин для рослин, а саме іонів NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} (спектрофотометрично) і концентрації рухомих форм елементів, отриманих шляхом водної витяжки та екстракції амонійно-ацетатним буфером (рН=7) і амонійно-ацетатним розчином з додаванням лимонної кислоти (рН=4).

Результати дослідження. Було встановлено, що рН ґрунту з ділянки рекультивації складає 8,78, значення питомої електропровідності становить 301,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Було виявлено, що даний субстрат має недостатню кількість нітратної (0,176 мг/кг) та амонійної форм азоту (0,0035 мг/кг), а також фосфатів (0,0016 мг/кг). ІСР-MS аналіз валового вмісту мікроелементів у ґрунті з ділянки рекультивації показав, що концентрація таких елементів як Co, As і Cu перевищує норми ГДК в 1,2; 10,1 та 1,9 рази відповідно. На основі отриманих параметрів було проаналізовано методи фітореємедіації, які типові для рекультивованих відвалів шахт Західного Донбасу для покращення загальної екологічної ситуації на шахті «Павлоградська» та можливість повернення цих територій до сільського господарства.

Наукова новизна. Встановлено закономірності зміни фізико-хімічних показників породи вугільного відвалу в умовах шахт Західного Донбасу та поглинальних властивостей червонобурої глини для зменшення міграційної активності важких металів.

Практичне значення. Результати досліджень дозволяють шляхом підбору методу фітореємедіації розробити дієві заходи щодо покращення фізико-хімічних показників субстрату та зменшення міграції важких металів у компонентах навколишнього середовища.

Ключові слова: вугільна шахта, відвал, фізико-хімічні властивості, важкі метали, фітореємедіація, рекультивація.

Вступ. Накопичення відвалів гірських порід є великою екологічною проблемою гірничодобувної промисловості. Зараз в українській частині Донбасу нараховується 1185 відвалів порід шахт. Відвали та шламонакопичувачі містять близько 1,3 млрд т порід із щорічним поповненням близько 60 млн т [1]. Дані території займають значні площі і потребують рекультивації в майбутньому.

Незважаючи на свою економічну та соціальну вигоду, вугільна промисловість спричиняє різноманітні екологічні та соціальні проблеми [2-5]. Серед яких забруднення важкими металами викликає найбільше занепокоєння. Під впливом

вивітрювання, вилуговування та вимивання водою, важкі метали можуть потрапляти в компоненти навколишнього середовища [5-7]. Більше того, тривале накопичення важких металів може призвести до зниження буферної здатності ґрунту, що загрожує навколишньому середовищу [6-8]. Потрапляючи до екосистем, важкі метали постійно рухаються, переходячи з однієї форми в інші. Виділяють такі системи переходу (транслокації) важких металів: повітря – ґрунт, ґрунт – вода; ґрунт – рослина; ґрунт – рослина – тварина; ґрунт – тварина – рослина – людина; ґрунт – рослина – людина та ін. Важкі метали накопичуються переважно у верхніх його горизонтах, де міститься найбільша частина коріння рослин.

В останні роки забруднення важкими металами збільшилося у зв'язку зі збільшенням добування в гірничій промисловості. Багато дослідників проводили відповідні дослідження про мінеральний склад у вугільних відвалах, хімічний склад важких металів у вугільному відвалі, характеристики забруднення важкими металами ґрунтів та потенційна екологічна оцінка ризику важких металів, що знаходяться у ґрунті. Відповідно до залягання материнських гірських порід залежать види і рівень концентрації важких металів, що накопичуються у відвалах, але зазвичай це такі елементи як (Cd, Pb, Cu, Cr і Zn).

Актуальність досліджень. Видобуток корисних копалин – це тимчасове використання земельних ресурсів та поняття «стійкості» у гірничому контексті, значить досягнення оптимального стану навколишнього середовища після проведення експлуатаційних робіт. На території ш. Павлоградська, щорічно на денну поверхню видається близько 80 тон шахтних порід. Відходи з шахти складують у відвали (19 млн т), а також використовуються для рекультивації (2464 га), для будівництва дамб, що обгороджують нове русло р. Самара (36,6 га) та штучні водойми (700 га) [1].

Відвальні шахтні породи Західного Донбасу представлені дрібнозернистими пісковиками (10,0%), алевролітами і алевролітовими глинами (32,0%), глинистими породами (38,0%), вуглистими алевролітами і глинами (15,0%), карбонатами (5,0%). Вони складаються уламками, величина яких досягає 250-300 мм і за механічними властивостями відрізняються від пухких до скельних [1]. Таким чином утворюється екологічна небезпека, яка має загрозу як для навколишнього середовища так і для людини.

Одним із методів рекультивації є використання рослин, для покращення стану забруднених земель. Одним із напрямків є фітореMediaція – використання зелених рослин, для стабілізації промислово-забрудненої території. ФітореMediaція – це процес біореMediaції, який використовує різні типи рослин для видалення, перенесення, стабілізації або знешкодження забруднюючих речовин у ґрунті та підземних водах. Існує кілька різних типів механізмів фітореMediaції – різofilьрація, фітоекстрація, фітоволотизація, фітостабілізація, фітодеградація, фітостимуляція.

Вплив важких металів на навколишнє середовище. Небезпека хрому (Cr) полягає у тому, що він дуже легко може замінитися з іншими мікроелементами, які потрапляють у цикл ланцюга живлення. Однією з небезпек при наявності хрому в організмі людини є втрата волосся [9].

При низькому рН ґрунту, молібден (Mo) легко вступає в реакцію з солями де є мідь (Cu) і залізо (Fe) і може взаємо замінити ці елементи, що в свою чергу при понаднормовій концентрації цього елемента в організмі людини може викликати порушення процесу запліднення [9].

Небезпека миш'яку (As) для навколишнього середовища полягає у тому, що коли він окислюється, він легше потрапляє до ланцюгу живлення. При потрапленні до організму людини, миш'як впливає на основні клітинні процеси, такі як синтез АТФ [9].

При кислому балансі у ґрунтовому субстраті свинець (Pb) може взаємо замінитися з атомами кальцію, що в свою чергу при потрапленні до організму людини впливає на крихкість кісток, впливає на регуляцію кальцію в організмі і також є канцерогенним елементом. Велика концентрація свинцю у дітей може призвести до порушення розвитку, зниженого інтелекту та втрати пам'яті. Також виникають ризики серцево-судинних захворювань [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Добування вугілля на кар'єрах утворює величезну кількість забруднених металами порід, які рекультивуються шляхом висадки швидко зростаючих дерев, які в свою чергу накопичують метали в своїх тканинах. В одному з експериментів, що проходив на вугільному відвалі Джарія (Джаркханд, Індія), для оцінки накопичення металів (Pb, Zn, Mn, Cu та Co) використовували такі види як (*Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth. та *Melia azedarach* L.). Експеримент показав, що дані види дерев добре накопичують Pb і Cu, у своїй кореневій системі, Mn і Zn накопичуються у листках дерев. Цей експеримент показав, що дані види дерев можна використовувати для фітоекстракції та різні частини дерев, є чудовими індикаторами для визначення важких металів, що знаходяться у ґрунті [10].

Інший дослід проходив на вугільному відвалі, що знаходиться в м. Одіша (Індія). Серед фіторемедіантів була використана рослина *Chrysopogon zizaniodes* (L.) Roberty. Даний дослід тривав 12 місяців, впродовж яких спостерігали, за показниками росту та адаптацією рослин до важких металів. На початку експерименту, рослини що зростали на забруднених ґрунтах мали нижчі ростові показники чим «контрольні рослини», але під кінець експерименту рослини мали однакові фізичні показники. Крім того, аналіз показав, що концентрація важких металів у ґрунті, а саме (Fe, Zn, Mn і Cr) зменшилась, що свідчить про екстракційні властивості рослини [11].

На відвалах, які багаті на Zn, робили дослід з рослинами *Dianthus Carthusianorum* та *Biscutella Laevigata*. Даний експеримент тривав три роки і показав, що фітостабілізатори, добре засвоюють Zn, тим самим зменшуючи його концентрацію в ґрунті [12].

У м. Хенан, центральна частина Китаю, на відвалі, який має великі концентрації таких важких металів, як Cd, Pb, Cu і Zn, проводили дослід з такими рослинами, як *B. Pilosa*, *A. Roxburghiana*, *A. Argyi*, *A. Hispidu*. Результати експерименту показали, що дані рослини є сильними фітоекстрактами і є придатними для фітостабілізації [13].

Один із дослідів проводили в районі Салем, Таміл Наду, Індія, де на вугільному відвалі використовували сільськогосподарські культури, такі як (*Vigna radiata*, *V. Mungo*, *V. Unguiculata*, *E. Coracana*, *C. Cajan*, *P. Glaucum*, *M. Uniflorum*, *O. Sativa*, *S. Bicolour*, *S. Indicum*, *R. Communis*, *B. Juncea*, *G. hirsutum* and *J. Curcas*) для аналізу можливості їх накопичення важких металів. В даній роботі було проаналізовано індекс транслокації та коефіцієнт накопичення, що показали гарний результат і можливість подальшого застосування цих рослин для фітостабілізації даного вугільного регіону [14].

Гарні результати з використанням сільськогосподарських культур для фітостабілізації показав дослід в Хайдарабаді, Індія. Регіон, який був забруднений промисловими стоками, з гірничодобувного підприємства, після використання фіторемедіантів, землі успішно були поверненні для сільськогосподарського призначення [15].

В шахтному регіоні Далюта, що знаходиться в Західній частині Китаю, де досліджували вплив різних ґрунтових бактерій та грибів, робили аналіз їх впливу на фіторослини. Експеримент показав, що рослини де були додані бактерії та гриби, показали кращий приріст, і також були зафіксовані фізико-хімічні зміни субстрату, а саме збільшення вмісту органічних речовин та рН [16].

Формулювання цілей статті: Мета статі полягає у визначенні фізико-хімічних показників породної маси вугільних відвалів та оцінці ефективності процесів фіторемедіації вугільних відвалів гірничодобувних підприємств.

Визначення фізико-хімічних показників субстрату шахти «Павлоградська». Відбір зразків для дослідження проводили на базі Павлоградського дослідного стаціонару рекультивації порушених земель ДДАЕУ у Західному Донбасі, який був закладений у 1976 р. в заплаві річки Самара з метою пошуку заходів відновлення природного потенціалу порушеної території.

Схема рекультивації земель передбачала вивчення ефективності перекриття шахтних відвалів різними за потужністю шарами ґрунтової маси чорнозему з відсутністю та наявністю екрануючого прошарку лесоподібного суглинку. Треба зазначити, що в усіх варіантах рекультивації щороку (до 1997 р.) на дослідних ділянках вирощували культури польової сівозміни. До минулого року у зв'язку з реформуванням ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» ділянки були під природним заростанням.

У дослідженнях вивчалися ділянки рекультивації з нанесенням на породу червоно-бурої глини потужністю 50 см. Для хімічного аналізу були відібрані зразки ґрунтів із глибини 0–20 см.

В якості субстрату слугувала ґрунтова суміш з відвалу шахта «Павлоградська». Основа ділянки була сформована шаром гірської породи (8-10 м), поверх якої було нанесено 50 сантиметровий ґрунтовий субстрат червоно-бурої глини. Проби ґрунтів відбирали згідно ДСТУ 4287:2004 та ДСТУ ISO 10381-2:2004.

Було проведено комплексний аналіз фізико-хімічних показників, таких як рН, питома електропровідність ґрунту (ЕС), кількісний вміст органічної речовини та іонів NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , а також валовий та водорозчинний вміст токсичних елементів Cr, Co, Cu, Zn, As, Cd, Pb, Bi, U.

Проби ґрунтів були доведені до повітряно-сухого стану, після чого зробили ґрунтово-водні витяжки у співвідношенні 1:10. рН водної витяжки визначали за ГОСТ 17.5.4.01-84, питому електропровідність – за ДСТУ ISO 11265:2001. Для визначення вмісту органічних речовин у ґрунті використовували метод сухого спалювання за ДСТУ Б В.2.1-16:2009.

Визначення концентрацій водорозчинних форм хімічних елементів рухомих форм (співвідношення ґрунт: амонійно-ацетатний буфер (рН7) та амонійно-ацетатний розчин + аскорбінова кислота (рН4) у співвідношенні 1:50.

Наступним визначали кількісний вміст іонів NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} фотометричним методом відповідно до німецьких стандартів «DIN-Norm». Вміст NO_3^- визначали відповідно до методики DIN 38405-9. Нітрати через додавання розчину концентрованих сірчаної та фосфорної кислот реагують з 2,6-диметилфенолом з утворенням 4-нітро-2,6-диметилфенолу. Останній надає розчину оранжевого забарвлення, оптичну щільність якого вимірюють при довжині хвилі 338 нм.

Концентрацію іонів NH_4^+ визначали за індофеноловим методом згідно DIN 38406-5. В основі методу лежить реакція аміаку з фенолом у присутності окислювача гіпохлориту натрію. Продуктом реакції є індофенол, який у лужному середовищі забарвлює розчини у синій колір. Оптичну щільність розчинів вимірювали при довжині хвилі 625 нм.

Вміст іонів PO_4^{3-} визначали за DIN EN ISO 6878. В основі даного методу лежить здатність фосфат-іонів утворювати з молібдатом амонію фосфорномолібденову гетерополікислоту (ФМГПК) – стійку у кислому середовищі і забарвлену у жовтий колір сполуку. Інтенсивність забарвлення жовтої ФМГПК слабка, тому для визначення фосфору використовували її відновлену форму, інтенсивно забарвлену у синій колір. Оптичну щільність розчинів вимірювали при довжині хвиль 880 нм. При додаванні відновника, Mo(VI) , що входить до складу ФМГПК, переходить до Mo(V) з утворенням «фосфор-молібденової сині». Вільні Mo(VI) і Mo(V) , що не входять до складу ФМГПК, також утворюють забарвлені в синій колір з'єднання. Щоб уникнути відновлення Mo(VI) , що входить до складу молібденово-кислого амонію, процедуру відновлення ФМГПК проводили в м'яких умовах. В якості відновника використовували аскорбінову кислоту в присутності антімонілтартрата калію – $\text{K(SbO)C}_4\text{H}_4\text{O}_6$, який прискорює утворення відновленої форми ФМГПК і сприяє її стійкості. Утворення пофарбованого у синій колір комплексу відбувається у слабокислому середовищі. Головним компонентом, що заважає при фотометричному визначенні фосфору, є Fe(III) , для усунення впливу якого здійснювали його відновлення до Fe(II) . Валовий вміст та вміст рухомих форм мікроелементів визначали на підставі методу мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS). Підготовку проб для аналізу валового вмісту елементів здійснювали згідно ISO 11464:1994 та ДСТУ ISO 14869-1:2005 при розчиненні проб ґрунту кислотним плавленням.

Статистичну обробку результатів дослідження виконано за допомогою пакетів програм «Statistica 5.0» і «Microsoft Excel 2010», отримані результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Концентрація важких металів та інших токсичних елементів на глибині 0-20 см

Назва важкого металу	Cr	Co	Mo	As	Cd	Pb	Cu
C, концентрація мг/кг	70,82	23,97	1,72	20,12	0,703	16,23	107,52

Було встановлено, що рН ґрунту з ділянки рекультивації складає 8,78, значення питомої електропровідності становить 301,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Результати спектрофотометричного аналізу забезпеченості субстрату елементами живлення рослин свідчать про недостатню кількість нітратної (від 0,176 мг/кг) та амонійної форм азоту (0,0035 мг/кг), а також фосфатів (0,0016 мг/кг). Загальний вміст поживних речовин (N) у ґрунті складає 0,003 ммоль/г, отримані результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники червоно-бурої глини

рН	Електропровідність $\mu\text{S}/\text{cm}$	Поживні речовини		
		NO_3^- , мг/кг	NH_4^+ , мг/кг	PO_4^{3-} , мг/кг
8,78	301,9	0,176	0,0035	0,0016

По співвідношенню валової концентрації мікроелементу до ГДК цих елементів у ґрунтах було встановлено, що концентрація таких елементів як Co, As і Cu перевищує норми ГДК в 1,2; 10,1 та 1,9 рази відповідно, співвідношення концентрацій важких металів до ГДК представлені на рис.

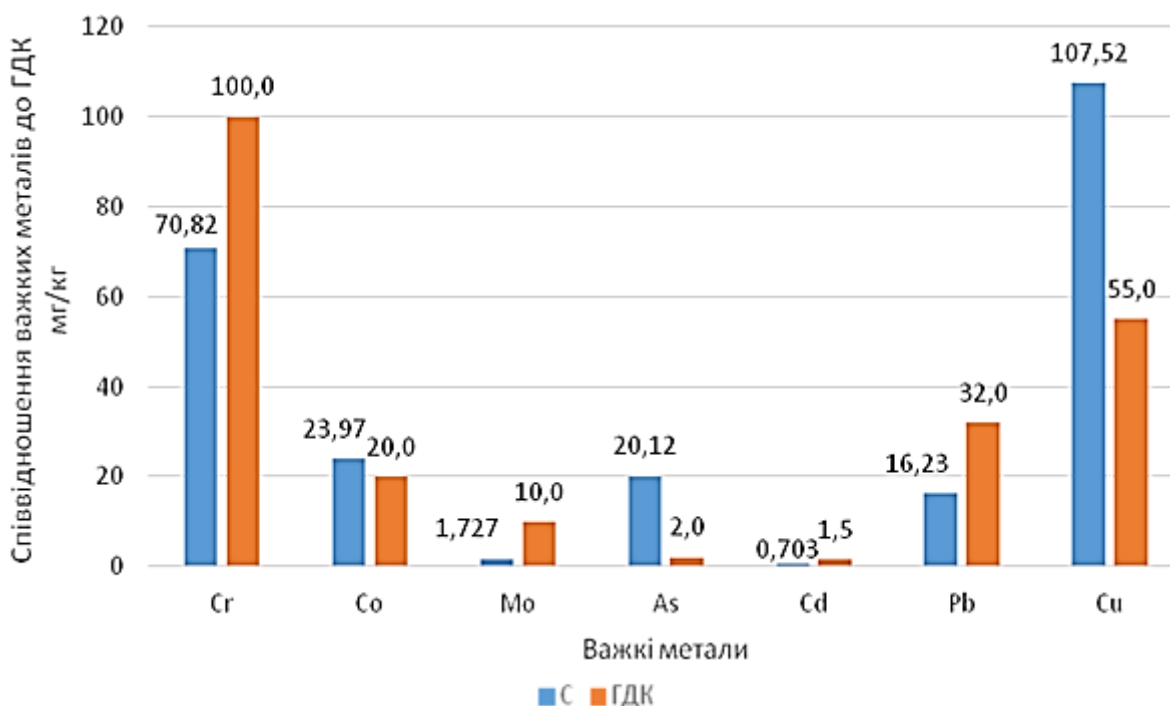


Рис. Співвідношення концентрацій важких металів та інших токсичних елементів до ГДК

Висновки. В статі представлено результати фізико-хімічних показників червоно-бурої глини, яка слугує у якості субстрату на вугільному відвалі шахти «Павлоградська».

В результаті проведених досліджень встановлено, що:

- рН ґрунту з ділянки рекультивації складає 8,78, значення питомої електропровідності становить 301,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$;
- даний субстрат має недостатню кількість нітратної (від 0,176 мг/кг) та амонійної форм азоту (0,0035 мг/кг), а також фосфатів (0,0016 мг/кг);
- ІСР-MS аналіз валового вмісту мікроелементів у ґрунті з ділянки рекультивації показав, що концентрація таких елементів як Со, Аs і Сu перевищує норми ГДК в 1,2; 10,1 та 1,9 рази відповідно.

Згідно з отриманих результатів, були розглянуті актуальні методи фіторедації вугільних відвалів, з майбутнім застосуванням їх на практиці.

Перелік посилань

1. *Звіт «Основні проблеми розвитку вугільної галузі і регіону Донбасу».* (2002). Київ.
2. Павличенко, А.В., Федотов, В.В., Бучавий, Ю.В. & Коваленко, А.А. (2014). Розробка електронних екологічних паспортів породних відвалів вугільних шахт. *Науковий вісник Національного гірничого університету*, 3, 105-110.
3. Kolesnik, V.Ye., Fedotov, V.V., & Buchavy, Yu.V. (2012). Generalized algorithm of diversification of waste rock dump handling technologies in coal mines. *Scientific bulletin of National Mining University*, 4, 138–142.
4. Кузік, І.М. (2012). Вплив породних відвалів шахт на компоненти довкілля та визначення можливостей щодо його зменшення. *Екологія і природокористування*, 15, 31-37.
5. Павличенко, А.В., Гайдай, О.А., Фірсова, В.Е., Руських, В.В. & Ткач, І.В. (2020). Технологічні напрями переробки відходів вуглезбагачення. *Збірник наукових праць НГУ*, 62, 139-148.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/62.139>
6. Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38.
<https://doi:10.33271/mining13.01.024>
7. Кроїк, Г.А., & Мельник, О.В. (2012). Закономірності розподілу техногенних та токсичних елементів у відходах добування та переробки вугілля Західного Донбасу. *Вісник ДНУ, серія «Геологія. Географія»*, 14(Т.20), 77-82.
8. Zubov, O., & Zubova, L. (2011). Protecting Donbass landscapes from the ingress of pollutants from the dumps of coal mines. *Уголь Украины*, 40-46.
9. Dixit, R., Wasiullah, Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U., Sahu, A., & Paul, D. (2015). Bioremediation of Heavy Metals from Soil and Aquatic Environment: An Overview of Principles and Criteria of Fundamental Processes. *Sustainability*, 7(2), 2189-2212.
<https://doi.org/10.3390/su7022189>
10. Rana, V., & Maiti, S. K. (2018). Differential distribution of metals in tree tissues growing on reclaimed coal mine overburden dumps, Jharia coal field (India). *Environmental Science and Pollution Research*, 25(10), 9745–9758.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-1254-5>
11. Banerjee, R., Goswami, P., Lavania, S., Mukherjee, A., & Lavania, U. C. (2019). Vetiver grass is a potential candidate for phytoremediation of iron ore mine spoil dumps. *Ecological Engineering*, 132, 120-136.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.012>

12. Ciarkowska, K., Hanus-Fajerska, E., Gambuś, F., Muszyńska, E., & Czech, T. (2017). Phytostabilization of Zn-Pb ore flotation tailings with *Dianthus carthusianorum* and *Biscutella laevigata* after amending with mineral fertilizers or sewage sludge. *Journal of Environmental Management*, 189, 75-83.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.028>
13. Bernal, M. P., Gómez, X., Chang, R., Arco-Lázaro, E., & Clemente, R. (2019). Strategies for the use of plant biomass obtained in the phytostabilisation of trace-element-contaminated soils. *Biomass and Bioenergy*, 126, 220-230.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.05.017>
14. Mathiyazhagan, N., & Natarajan, D. (2013). Phytoremediation Efficiency of Edible and Economical Crops on Waste Dumps of Bauxite Mines, Salem District, Tamil Nadu, India. In *On a Sustainable Future of the Earth's Natural Resources* (pp. 493-508). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-32917-3_31
15. Prasad, M. N. V. (2015). Phytoremediation crops and biofuels. In *Sustainable agriculture reviews* (pp. 159-261).
https://doi.org/10.1007/978-3-319-16742-8_7
16. Guo, Y., Liu, X., Tsolmon, B., Chen, J., Wei, W., Lei, S., Yang, J., & Bao, Y. (2020). The influence of transplanted trees on soil microbial diversity in coal mine subsidence areas in the Loess Plateau of China. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00877.
<https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00877>

АННОТАЦИЯ

Цель. Определение физико-химических показателей породной массы угольных отвалов шахты «Павлоградская» и оценка эффективности процессов фиторемедиации угольных отвалов горнодобывающих предприятий.

Методика исследования заключается в комплексном анализе таких физико-химических показателей почвы и глины как: рН, удельная электропроводность почвы (ЕС), валовое содержание тяжелых металлов, других токсичных и редкоземельных элементов. Для интактной пробы почвы были определены дополнительно количественное содержание питательных веществ для растений, а именно ионов NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} (спектрофотметрично) и концентрации подвижных форм элементов, полученных путем водной вытяжки и экстракции аммонийно-ацетатным буфером (рН=7) и аммонийно-ацетатным раствором с добавлением лимонной кислоты (рН=4).

Результаты исследования. Было установлено, что рН почвы с участка рекультивации составляет 8,78, значение удельной электропроводности составляет 301,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Было обнаружено, что данный субстрат имеет недостаточное количество азотной (от 0,176 мг/кг) и аммонийной форм азота (0,0035 мг/кг), а также фосфатов (0,0016 мг/кг). ICP-MS анализ валового содержания микроэлементов в почве с участка рекультивации показал, что концентрация таких элементов как Co, As и Cu превышает нормы ПДК в 1,2; 10,1 и 1,9 раза соответственно. На основе полученных параметров были проанализированы методы фиторемедиации, которые типичны для рекультивированных отвалов шахт Западного Донбасса для улучшения общей экологической ситуации на шахте «Павлоградская» и возможность возвращения этих территорий для сельского хозяйства.

Научная новизна. Установлены закономерности изменения физико-химических показателей породы угольного отвала в условиях шахт Западного Донбасса и поглощающих свойств красно-бурой глины для уменьшения миграционной активности тяжелых металлов.

Практическое значение. Результаты исследований позволяют путем подбора метода фиторемедиации разработать действенные меры по улучшению физико-химических показателей субстрата и уменьшить миграцию тяжелых металлов в компонентах окружающей среды.

Ключевые слова: угольная шахта, отвал, физико-химические свойства, тяжелые металлы, фиторемедиация, рекультивация.

ABSTRACT

Purpose. Determination of physical and chemical parameters of the rock mass of coal dumps of the mine "Pavlogradskaya" and evaluation of the effectiveness of phytoremediation processes of coal dumps of mining enterprises.

Methodology. The research methodology consists in a comprehensive analysis of such physical and chemical parameters of soil and clay as: pH, specific electrical conductivity of the soil (EC), the total content of heavy metals, other toxic and rare-earth elements. For an intact soil sample, the quantitative content of nutrients for plants was additionally determined, namely, NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ions (spectrophotometrically) and the concentration of mobile forms of elements obtained by water extraction and extraction with ammonium acetate buffer (pH = 7) and ammonium acetate solution with the addition of citric acid (pH=4).

Findings. It was found that the pH of the soil from the reclamation site is 8.78, the specific electrical conductivity is 301.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. It was found that this substrate has an insufficient amount of nitrogen (from 0.176 mg/kg) and ammonium forms of nitrogen (0.0035 mg/kg), as well as phosphates (0.0016 mg/kg). ICP-MS analysis of the total content of trace elements in the soil from the reclamation site showed that the concentration of such elements as Co, As and Cu exceeds the TLV norms by 1.2; 10.1 and 1.9 times, respectively. Based on the obtained parameters, phytoremediation methods were analyzed, which are typical for reclaimed dumps of mines in the Western Donbass to improve the general ecological situation at the mine "Pavlogradskaya" and the possibility of returning these areas to agriculture.

Originality. Regularities of change of physical and chemical parameters of coal dumps in the conditions of mines of the Western Donbass and absorption properties of red-brown clay for reduction of migratory activity of heavy metals are established.

Practical implications. The results of research allow by selecting the method of phytoremediation to develop effective measures to improve the physicochemical parameters of the substrate and reduce the migration of heavy metals in the components of the environment.

Keywords: coal mine, dump, physical and chemical properties, heavy metals, phytoremediation, reclamation.