



УДК 581.5: 662.271.4: 582.542.11

ОЧЕРЕТ ЗВИЧАЙНИЙ – ФІТОРЕМЕДІАНТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДРЕНАЖНИХ КАНАВАХ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

В. І. Баранов¹, І. М. Книш¹, І. А. Блайда³, С. П. Ващук¹, М. С. Гаєриляк²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: bio.lwiw@ukr.net

²Львівська комерційна академія, вул. Самчука, 9, Львів 79005, Україна

³Одеський національний університет ім. І. І. Мечнікова
вул. Дворянська, 2, Одеса 65082, Україна

Проведено аналіз вмісту важких металів у субстратах породного відвалу вугільних шахт і органах очерету звичайного за росту на них. Виявлені чинники концентрування важких металів у субстратах. Серед компонентів субстратів найбільший вміст ВМ виявився у аргілітах, далі алевролітах, найменший у пісковиках. За коефіцієнтом біологічного накопичення рослини очерету виявились гіперакумуляторами більшості важких металів, що враховуючи також масу рослин, дає змогу рекомендувати їх як фіторемедіанти важких металів у дренажних канавах породних відвалів вугільних шахт.

Ключові слова: породний відвал вугільних шахт, важкі метали, граничні території, фіторемедіація, очерет звичайний (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

ВСТУП

Проблема екологічної небезпеки гірничодобувних районів, зокрема, і Червоноградського вугільного, полягає не тільки в тому, що породні відвали і терикони займають великі площі ґрунтів, придатних для с/г виробництва, а, в основному, у забрудненні оточуючих територій шляхом вітрової ерозії та вимивання у поверхневі та ґрунтові води кислих змивів, багатих на важкі метали, з їх схилів [2, 19]. Під породними відвалами шахт зайнято 265,9 га землі, маса відвалів становить близько 42 млн м³ породи, із них перегорілої породи в межах 25–30%. Щорічна маса видаленої породи з шахт становить від 1,9 до 2,3 млн тонн.

Породний відвал Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ) ВАТ „Львівська вугільна компанія” розташований у с. Сілець Львівської області, має висоту 68 м та площу 76 га, при загальному об’ємі більше 12 млн тонн. Річний видобуток вугілля

шахт району становить близько 3,2 млн тонн, з них ЦЗФ переробляє 2,0 млн тонн. Тверді відходи ЦЗФ становлять 1,8 млн т/рік, рідкі відходи – 1,35 млн т/рік. В основному породи відвалу складаються з алевритистих і алевритових аргілітів, які являють собою осадові породи з групи глин, що не несуть явних слідів метаморфізму, не розмокають або розмокають дуже слабо у воді. Колір породних субстратів червоний (перегоріла порода зі зміненими структурно-текстурними особливостями, різноманітних відтінків, що свідчить про складні літологічні та петрографічні перетворення, які відбувалися у процесі термального „метаморфізму“) і чорний (не перегоріла, для якої характерний природний чорно-сірий колір). У попередніх наших дослідженнях [2–5] у багатьох точках відбору проб на відвалі знайдено перевищення ГДК по важких металах (ВМ), вміст органічної маси становив 1–2%, субстрати відвалу мають високу кислотність у межах рН 2,8–4,5, яка з'являється при гідролізі піриту (вміст його в субстратах сягає 1–4%) тіоновими бактеріями і є одним з основних негативних факторів едафотопу відвалів вугільних шахт [1, 5, 31].

Велика площа відвалу і наявність схилів обумовлюють великі об'єми водних стоків – до $0,118 \times 10^6$ м³/рік з розрахунку $0,00375$ м³/с, які мають високу кислотність і несуть значну кількість важких металів [2].

Вивченню едафотопів у техногенних екотопах, озелененню відвалів присвячена значна кількість робіт, природно проведених у промислово забруднених регіонах, таких як Урал [14, 18, 24], Північ Росії [32] та Північний Казахстан [29], Кузбас [8, 10], а в Україні такі дослідження проводяться на Донбасі [26, 27], у Лісостепу України [12], у Львові [3, 6, 21], Донецькому ботанічному саду [20] та інших містах.

У завдання дендротехногенної інтродукції входить пошук і використання таких рослин для озеленення відвалів, які були б не тільки стійкими, але й мали би здатність до активного розселення і не мали алергенних властивостей [20]. Як тестові рослини для перевірки еколого-геохімічних пертурбацій використовують вищі і нижчі рослини, водорості, мікроорганізми [11], однак індикаційною частиною може виступати фізіологічно активна частина рослини або частина, відібрана за безбар'єрним типом. Це може бути кора дерев, волосся тварин, хітин у комах, тобто малоактивна частина у фізіологічному плані, але здатна акумулювати максимальну кількість елементів [16].

Тому з'явилася потреба обмежити надходження важких металів зі стоками у ґрунтові води оточуючих територій шляхом висаджування рослин-фіторемедіантів навколо відвалу, що потребує, у свою чергу, аналізу ґрунту відвалу та граничних площ, а також підбору рослин для створення захисної смуги [13, 15, 17, 28, 30].

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Збір проб на відвалі та в межах санітарної зони проводився методом „конверта“. Для перевірки можливості рослин очерету звичайного (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) виступати як фіторемедіант був визначений вміст важких металів у органах цих рослин, відібраних за бар'єрним типом – коренях, стеблах і листках та суцвіттях і субстратах, на яких вони росли. Рослини викопували, промивали, висушували до повітряно-сухої маси і спалювали у фарфорових тиглях у муфельній печі за температури 450°C протягом кількох годин до

отримання однорідного кольору золи. Наважку золи розчиняли у розчині амонійно-ацетатного буфера рН 4,8 і визначали вміст важких металів атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі С115М1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції [22].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

На початку роботи був проведений аналіз вмісту золи, важких металів у компонентах ґрунтового субстрату відвалу. Результати аналізів золи та вмісту ВМ у породах відвалу ЦЗФ показали, що підвищені концентрації майже всіх мікроелементів, окрім молібдену і скандію, пов'язані із зольністю порід. Виявлено, що на концентрування та взаємозв'язки мікроелементів впливає одразу кілька чинників, а саме ступінь горілості породи і літологічний склад. Саме горілі породи концентрують більшу кількість мікроелементів. Наприклад, зі 166 виявлених перевищень рівня кларків для усіх мікроелементів 99 належить горілим породам (60% від загальної кількості) і 67 – негорілим. Зрозуміло, що головною причиною концентрування металів у перегорілих породах є підвищення їхньої зольності внаслідок вигорання органіки. При порівнянні вмісту мікроелементів у горілих та негорілих породах був отриманий такий ряд змін концентрації елементів у породах унаслідок їхнього горіння: Mn (2,15) > Cu (2,1) > Be (1,8) > Ba, Sr (1,7) > Ga, Ti (1,6) > V (1,55) > Cr, Ni (1,5) > Sc (1,45) > Zr, Yb (1,4) > Zn (1,3) > Sn (1,2) > P, Co (1,1) > Y (1,0) > Pb (0,81) > Mo (0,55). З'ясовано, що горілі *аргіліти* концентрують більше щодо негорілих - Zr (2,2) > Ti (2,1) > Ba (1,5) > Be (1,6) та Cr₁, Sr₁, Y₁, Yb, Zn, Sc, Cu, P (на рівні 1,1–1,4). Зменшення вмісту хімічних елементів у процесі термічної зміни аргілітів характерне для Co, Bi, Pb, Mo. Не змінюють вмісту Ga, Sn, V.

В *алевролітах* унаслідок термічних процесів зростає вміст Cu (6,6) > Ga (3,5) > Sc (3,1) > Sn (2,2) > Be (1,6) > Ti (1,5) > Sr (1,4) > Ba (1,3) > Cr (1,25). Водночас у горілих алевролітах (досліджених для порівняння) відібраних з розташованого поруч відвалу шахти Візейської, частини мікроелементів не виявлено (Bi, Zn, Mo, Pb), а деякі зазнають зниження вмісту (Y, Yb, Mn, Co). Характерне зменшення вмісту виявлено для P (0,3). Змінені під впливом температури *пісковики* водночас збагачені Ga (3,3) > Sn (2,6) > Pb (1,8) та Cu, Sc, Zn, Ge, Ba (1,2–1,6). У процесі термічних змін пісковики зазнають збіднення P (0,8), Mn (0,5), Ni, Co, V. Вміст Be, Ti, Sr та частково Y, Cr, Yb, Zr у пісковиках не змінюється.

З дослідження кількості елементів у літологічних різновидах порід виявлено, що їх найкращими накопичувачами є аргіліти. Геохімічний фон алевролітів, які займають проміжне становище між пісковиками й аргілітами, непостійний. Для пісковиків характерний стабільний геохімічний фон.

Відвал частково розташований на високопроникних алювіальних відкладах р. Рати за 350–400 м від її русла, вміст важких металів на окремих ділянках у 5–8 разів перевищує кларк для осадових порід, а кількість їх рухомих форм може досягати 50% від загального вмісту, тому можна вважати ймовірним надходження мікроелементів у суміжні з відвалом зони аерації та р. Рату в понадфонових кількостях, у зв'язку з чим виникає потреба обмежити надходження важких металів на території, оточуючі породний відвал.

Для запобігання надходженню елементів у суміжні з породним відвалом ЦЗФ зони аерації та р. Рату, нормалізації якості ґрунтів можна запропонувати два методи – хіміко-технологічний і біологічний. Перший базується на роботах, проведених

на відвалах у Кизеловському вугільному басейні в Росії [23], де терикон був обнесений канавами, яку заповнили сполуками барію і подрібненими карбонатними породами як сорбенту, що знизило рухливість забруднюючих компонентів.

Біологічний метод заснований на фіторе mediaційній здатності рослин накопичувати важкі метали з водних стоків [15, 25, 33, 34]. Знизити токсичний вплив відвалу на довкілля можуть обидва методи, однак метод засипання дренажної канави поглинаючими ВМ сполуками є більш дорогим – сюди входить вартість матеріалів, їх транспортування, витрати на засипання, а, крім того, важкі метали не вилучаються з ґрунту, а лише обмежується кількість їх рухомих форм. Біологічний метод можна вважати економічно вигіднішим, оскільки фіторекультивация вважається одним із найдешевших методів зменшення шкідливого впливу викидів на оточуюче середовище [9].

Неподалік відвалу в заплавах очерет росте масово і викопування й посадка рослин у дренажну канаву та на територію навколо породного відвалу буде коштувати дуже дешево – посадковий матеріал безоплатний, відстань транспортування мала, основними витратами є оплата працівників при пересаджуванні рослин. Що стосується екологічної доцільності, то додатковим аргументом є те, що при поглинанні рослинами важкі метали на довгий час вилучаються з трофічного ланцюга, а, по-друге, ці рослини наприкінці вегетації взагалі можна скосити і використати, після спалювання у спеціальних печах, обладнаних фільтрами, для екстракції рідкоземельних елементів [7].

Як виявилось (табл. 1), очерет є гіперакумулятором майже всіх аналізованих важких металів, причому вміст ВМ в органах рослин перевищував їх вміст у субстратах у рази та десятки разів. За сумарною кількістю ВМ на рослину вміст ВМ розташовувався по низхідній у такий ряд: Fe–Cd–Co–Cu–Pb–Zn–Ni–Cr.

Таблиця 1. Вміст важких металів у субстратах породного відвалу та органах тростини
Table 1. The content of heavy metals in the substrates of rock dump and organs of the cane

Варіант	Вміст валових форм важких металів, мг/кг золи							
	Zn	Cd	Ni	Co	Pb	Cu	Cr	Fe
Червона порода	15,4 ±0,3	1,8 ±0,4	53,2 ±0,2	19,37 ±0,7	8,3 ±0,5	3,4 ±0,3	3,1 ±0,1	28,7 ±1,2
Чорна порода	4,9 ±0,2	3,3 ±0,1	24,9 ±0,5	57,17 ±1,6	7,0 ±0,3	2,9 ±0,1	2,0 ±0,3	33,9 ±0,8
Корінь	41,2 ±1,3	104,2 ±2,2	42,3 ±1,2	77,9 ±2,3	34,5 ±0,8	112,4 ±1,9	14,0 ±0,8	813,7 ±3,2
Листки	37,3 ±0,7	61,2 ±0,4	56,2 ±0,5	39,71 ±0,7	45,3 ±0,3	41,9 ±0,1	14,6 ±0,6	986,9 ±1,7
Суцвіття	2,5 ±0,1	45,5 ±0,4	12,6 ±0,3	41,7 ±0,8	5,9 ±0,2	1,9 ±0,1	4,1 ±0,2	284,2 ±2,6
Сума (на рослину)	81 ±0,7	210,9 ±1,0	37,0 ±0,7	159,3 ±1,3	85,7 ±0,4	156,2 ±0,7	32,7 ±0,5	2084,8 ±2,5
Коефіцієнт біологічного накопичення (на рослину)	16,5	63,9	1,5	2,8	12,2	53,9	16,4	61,5
Коефіцієнт біологічного накопичення (на корінь)	8,4	31,6	1,7	1,4	4,9	38,8	7,0	24,0

Вміст ВМ в органах рослин очерету відрізнявся від сумарного вмісту. Так, в усіх органах було найбільше Fe, в коренях, порівняно з іншими органами рослини, накопичувались Cu, Cd та Co, в листках Ni та Pb, а в суцвіттях вміст ВМ був найменшим. З практичної точки зору ця різниця у накопиченні ВМ не є суттєвою, оскільки принципово важливим є те, що рослини очерету здатні накопичувати ВМ у досить значних кількостях, вилучаючи їх зі субстратів і тим самим затримуючи їх надходження у ґрунтові води. Вміст у надземній масі рослин також є досить суттєвим і викошування з подальшим спалюванням у спеціальних печах для екстракції металів вилучає ці елементи з едафотопу.

Під час визначення коефіцієнта біологічного накопичення на всю рослину і на окремі органи рослин виявилось, що основну функцію поглинання у тростини виконував корінь, в якому за більшістю елементів КБН становив до 50% і більше від показника на всю рослину. Найбільші величини КБН (а він розраховувався на всю рослину і окремо на корінь) припадають на Cd, Cu, Fe. Накопичення важких металів у органах очерету виводить їх із кругообігу елементів, сприяючи не лише очищенню субстратів відвалу і відновленню екологічного потенціалу екосистем, у яких вони ростуть, але і зменшенню техногенного навантаження на біогеоценози суміжних територій.

Таким чином, виявлення у рослин очерету явища гіперакумуляції важких металів, велика маса рослин і велика щільність росту доводить доцільність їх використання у дренажних канавах навколо породних відвалів вугільних шахт як ефективних фіторемедіантів. Це зменшить витік важких металів у ґрунтові води оточуючих територій, річку Рату, що зменшить техногенне навантаження на навколишнє середовище.

1. Агурова И.В. Особенности развития эдафотопы в условиях отвалов угольных шахт Донбасса. **Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону**. Донецьк. ДонУ, 2009; 1(9): 150–157.
2. Баранов В.І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ „ЛьВІВ-СИСТЕМЕНЕРГО” як об’єкта для озеленення. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.**, 2008; 46: 172–178.
3. Баранов В.І., Книш І.Б. Хіміко-мінералогічний склад порід відвалу вугільних шахт ЦЗФ „Львівсистеменерго” та їх вплив на проростання насіння. **Матер. V міжнар. наук. конф. „Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку”**. Донецьк, 2007. 36 с.
4. Баранов В.І., Книш І.Б., Войціховська А.С. Визначення вмісту важких металів у дикоростучих рослинах на породному відвалі вугільних шахт та міському сміттєзвалищі. **XIII з’їзд Українського ботанічного товариства**. Львів, 2011. 412 с.
5. Баранов В., Бешлей С., Ващук С. та ін. Визначення токсичності дії важких металів і кислотності на рослини ріпаку як факторів впливу субстратів ґрунту породних відвалів. **Біологічні Студії / Studia Biologica**, 2011; 5(1): 17–24.
6. Башуцька У. **Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району**. Львів: РВВ НЛТУ України, 2006. 178 с.
7. Блайда И.А. Извлечение ценных металлов при переработке промышленных отходов биотехнологическими методами (Обзор). **Энерготехнологии и ресурсосбережение**, 2010; 6: 39–45.
8. Глебова О.И. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов лесостепной зоны Кузбасса. **Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель**:

- Международ. науч. конф. (4–8 июня 2007, г. Екатеринбург). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007; 168–178.
9. *Гуральчук Ж.З., Гудков І.М.* Фіторе mediaція та її роль в очищенні ґрунтів від важких металів та радіонуклідів. **Физиология и биохимия культурных растений**, 2005; 37(5): 371–381.
 10. *Двуреченский В.Г.* Особенности содержания гумуса в эмбриоземах техногенных ландшафтов Кузбасса. **Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель**. Международ. науч. конф. (4–8 июня 2007 г. Екатеринбург). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007; 185–192.
 11. *Дмитрук Ю.М., Бербець М.А.* **Основи біогеохімії**. Чернівці; Книги – XXI, 2009. 288 с.
 12. *Забалуєв В.О.* **Едафо-фітоценотичне обґрунтування формування і функціонування стійких агроecosystem на рекультивованих землях Степу України**: автореф. ... дис. д-ра біол. наук: 03.00.16-2005.
 13. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* **Микроэлементы в почвах и растениях**. Москва: Мир, 1989. 439 с.
 14. *Карташева Г.Г.* Динамика агрохимических свойств пород Коркинского угольного разреза. **Растения и промышленная среда**. Свердловск: УрГУ, 1982; 9: 33–43.
 15. *Кіпніс Л.С., Коцар О.М., Леконцева Т.І.* та ін. Роль очерету звичайного та рогузу вузьколистого в утилізації важких металів при очищенні стічних вод. **Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. біол.**, 2010; 2(43): 222–225.
 16. *Ковалевский А.Л.* **Биогеохимия растений**. Новосибирск; Наука, Сиб. отд., 1991. 294 с.
 17. *Ковда В.* **Биогеохимия почвенного покрова**. Москва: Наука, 1985. 263 с.
 18. *Колесников Б.П., Махонина Г.Н., Чибрик Т.С.* **Естественное формирование почвенного и растительного покровов на отвалах Челябинского бурогоугольного бассейна. Растения и промышленная среда**. Свердловск: УрГУ, 1976; 70–122.
 19. *Кондратюк Е.Н., Тарабрин В.П., Бурда Р.И., Хархота А.И.* **Промышленная ботаника**. Киев: Наук. думка, 1980. 260 с.
 20. *Коршиков И.И.* **Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды**. Киев: Наук. думка, 1996. 215 с.
 21. *Кучерявий В.П.* **Фітомеліорація**. Львів: Світ, 2003. 540 с.
 22. **Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами**. Москва: Гидрометеиздат, 1981. 59 с.
 23. *Максимович Н.Г., Блинов С.М., Холостов С.Б., Басов В.Н.* Очистка шахтных вод Кизеловского угольного бассейна с использованием отходов ОАО „Березниковский содовый завод“. **Экологические проблемы и здоровье населения Верхнекамья**. Материалы науч.-практ. конф. (7–9 октября г. Березники). Пермь, 2002. С. 94–97.
 24. *Махонина Г.И.* Свойства пород промышленных отвалов Урала и их пригодность для биологической рекультивации. **Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель**: Международ. науч. конф. Екатеринбург: УроРАН, 2003. С. 311–323.
 25. *Прасад И.М.* Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами. **Физиология растений**, 2003; 50(5): 764–780.
 26. *Сетт И.В.* До вивчення агрохімічних властивостей едафотопу та щільності популяції рослин на териконниках Донбасу. **Промышленная ботаника**, 2002; 2: 218–221.
 27. *Сметана А.Н., Кайко Г.В., Перерва В.Г.* и др. Эдафотопы хвостохранилищ Криворожского железорудного бассейна. **Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель**: международ. науч. конф. (4–8 июня 2007, г. Екатеринбург). Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2007. С. 563–567.
 28. *Сторожук В.М., Батлук В.А., Назарук М.М.* **Промислова екологія**. Львів; Укр. акад. друкарства, 2005. С. 451–454.

29. Терехова Э.Б. Характеристика экологических условий откоса южной экспозиции Сарбайского железорудного карьера. **Растения и промышленная среда**. Свердловск: УрГУ, 1984; 10: 58–67.
30. Торохова О.Н. К вопросу фитотоксичности породы промышленных отвалов Донбасса. **Промышленная ботаника**, 2007; 7: 80–84.
31. Торохова О.Н., Азурова И.В. Оценка пригодности пород промышленных отвалов Донбасса для произрастания растений. **Промышленная ботаника**, 2008, 8: 12–16.
32. Трофимов С.С., Папалекова И.Н., Кандрашин Е.Р. и др. **Гумусообразование в техногенных экосистемах**. Новосибирск: Наука, 1986. 164 с.
33. **Phytoremediation. Methods and Reviews**. Ed. Neil Willey. Bristol: Humana Press, Univ. West England. 2007. P. 516.
34. Raskin I., Ensley B.D. **Phytoremediation of Toxic Metals. Using Plants to Clean Up the Environment**. New York: Wiley and Sons, 2000. P. 685.

CANE – PHYTOREMIANT OF HEAVY METALS IN DRAINAGE DITCH ROCK DUMP COAL MINES

V. I. Baranov¹, I. B. Knish¹, I. A. Blaida³, S. P. Vaschuk¹, M. J. Gavriljak²

¹Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: bio.lwiw@ukr.net

²Lviv Comertion Academy, 9, Samchuk St., Lviv 79005, Ukraine

³I. I. Mechnikov National University of Odesa, 2, Dvorjanska St., Odesa 65082, Ukraine

Keywords: rock dump coal mines, heavy metals, the boundary area, phytoremediation, cane (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

The analysis of heavy metal content in the substrate rock dump coal mine discovered and concentration factors of heavy metals in the substrates. Among the components of substrates, the highest content in HM was arhilitah, then siltstones, sandstones in the least. According to the coefficient of biological accumulation plant cane were hiperaccumulators of most heavy metals thus can recommended as plants- they phytoremediators in the drainage ditches of rock dump coal mines.

ТРОСТНИК ОБЫЧНЫЙ – ФИТОРЕМЕДИАНТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДРЕНАЖНЫХ КАНАВАХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

В. И. Баранов¹, И. Б. Книш¹, И. М. Блайда³, С. П. Ващук¹, М. Я. Гаверляк²

¹Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: bio.lwiw@ukr.net

²Львовская коммерческая академия, ул. Самчука, 9, Львов 79005, Украина

³Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова
ул. Дворянская, 2, Одесса 65082, Украина

Проведен анализ содержания тяжелых металлов в субстратах породного отвала угольных шахт и выявлены факторы влияния на концентрирование тяжелых

металлов в субстратах. Среди компонентов субстратов наибольшее содержание ТМ обнаружено в аргилитах, среднее в алевролитах и наименьшее в песковиках. По значению коэффициента биологического накопления растения тростника оказались гипераккумуляторами большинства тяжелых металлов, что позволяет рекомендовать их в качестве растений-фиторемедиантов в дренажных канавах породных отвалов угольных шахт.

Ключевые слова: породный отвал угольных шахт, тяжелые металлы, смежные территории, фиторемедиация, тростник обычный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.).

Одержано: 24.01.2012