

**УМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У КУНИЧНИКУ НАЗЕМНОМУ
(*CALAMAGROSTIS EPIGEIOS* (L.) ROTH) ЗА УМОВ РОСТУ НА СУБСТРАТАХ
ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

С. Бешлей¹, В. Баранов², В. Козловський¹, М. Козловський¹

¹Інститут екології Карпат НАН України
вул. Козельницька, 4, Львів 79026, Україна
e-mail: beshley.stepan@gmail.com

²Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

Вивчено розподіл важких металів у субстраті, підземній, надземній фітомасі та відпаді *Calamagrostis epigeios* на відвалах вугільних шахт Червоноградського гірничо-промислового району. Показано, що валовий вміст Cu, Mn, Zn у куничнику наземному є практично такий, як у субстраті, а Fe і Pb – **значно менший. При заростанні породних відвалів куничником наземним відбувається стабілізація вмісту важких металів у субстраті, що вказує на формування сприятливих умов техногенного едафотопу для формування рослинного покриву.**

Ключові слова: важкі метали, *Calamagrostis epigeios*, породний відвал, коефіцієнт нагромадження важких металів.

На території України розміщено понад півтори тисячі породних відвалів вугільних шахт. На західній території країни вони сконцентровані в межах Червоноградського гірничо-промислового району. Породні відвали вугільних шахт – це чинники тотального забруднення землі, води, повітря. Відвали, на яких не здійснюються планувальні роботи, є джерелом пилоутворення. Лише з одного середнього терикона щороку вимивається і здувається у вигляді пилу понад 400 тонн породи. Крім того, з нього вилужується понад 8 тонн солей, в тому числі сполуки важких металів. Усі ці речовини та їхні сполуки створюють навколо терикона зону техногенного забруднення. Безпосередньо біля породних відвалів шахт спостерігаються максимальні валові концентрації Кобальту, Нікелю, Молібдену, Ванадію, Барію і Плюмбуму. Максимальні валові концентрації Арсену, Цинку, Кадмію, Меркурію, Стибію поширені на відстані 1–3 км від териконів [4]. Процес самозаростання відвалів триває десятки і сотні років. Спочатку відбуваються процеси окиснення та вивітрювання породи і лише потім поселяються рослини, які з часом формують рослинний покрив [11, 20]. З'ясуванню цих процесів на відвалах і способів їх фіторекультивациі присвячено низку праць [4, 8, 12, 18, 19, 23].

Одним із перших трав'яних видів, які поселяються на відвалах, є *Calamagrostis epigeios*, який росте поодинокими кущами або формує суцільні куртини [6, 9]. Процес формування рослинного покриву є дуже важливим, адже при цьому відбувається як накопичення важких металів у рослинах, так і зв'язування субстрату їхніми коренями й кореневищами, що зменшує процес вивітрювання та вимивання породи, яка містить значну кількість важких металів [3, 15]. Питання перерозподілу важких металів у субстратах, надземних, підземних частинах і відпаді куничника наземного є дуже важливим для зв'язування умов формування едафотопу при поселенні піонерних видів, перерозподілу важких металів при цьому між субстратом і рослинами та процесу стабілізації умов техногенного ґрунтового покриву відвалів.

Матеріали та методи

Для вивчення поставленого завдання як модельні об'єкти було обрано відвали Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ), шахт «Надія» та «Візейська», які розрізнялися за ступенем природного заростання та рекультивациі. ЦЗФ почала своє виробництво у 1979 р., і до сьогодні в результаті її діяльності уже сформований відвал загальною площею понад 76 гектарів [1, 2]. За досить незначний період часу на північній і північно-східній сторонах відвалу почав формуватися рослинний покрив, домінантне місце в якому займає куничник наземний. Для порівняння були відібрані пробні зразки субстрату по елементах рельєфу та рослини на відвалі ЦЗФ, із природно зарослого відвалу шахти «Візейська» під куртинами куничника наземного, де він уже не є домінантним видом у рослинному угрупованні, яке сформувалось, та під *C. epigeios* на рекультивованому відвалі шахти «Надія».

Проби субстрату з глибини 0–20 см відбирали на пробних ділянках відвалів методом “конверта” у 2010 р. Для визначення важких металів проби спалювали у фарфорових тиглях у муфельній печі за температури 400–450°C протягом 4–6 год до отримання однорідного кольору золи. Після цього обробляли проби субстрату сумішшю HCl та HNO₃ у співвідношенні 3:1. Вміст ВМ у частинах рослин визначали у середній пробі, яку формували із відібраної у п'яти місцях в межах пробної ділянки. Проби повітряно-сухого рослинного матеріалу озолляли за температури 450°C. Отриману золу після зважування розчиняли розведеною HNO₃. Валовий вміст металів визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі С115М1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції [16]. Визначення проводили у трьох повторностях. Відносна похибка за Р=95% не перевищувала 7%.

Результати і їхнє обговорення

Однією з проблем геохімічного обстеження територій і встановлення рівнів техногенного забруднення ґрунтів є порівняння одержаних результатів аналізу [16]. Для цього одні дослідники використовують ГДК (ОДК) того чи іншого елемента, інші – кларковий вміст елементів за А. П. Виноградим [7].

На думку багатьох учених, як ГДК, так і кларк за Виноградим мають недоліки, що не дають змоги об'єктивно оцінювати стан техногенного впливу.

Тому А. І. Фатєєв і Я. В. Пащенко [21] для нормування техногенних впливів запропонували використовувати фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України і застосовувати його як місцеві кларки окремих елементів.

Слід зауважити, що характеризуючи пусту породу відвалів поблизу заростей куничника, перевищення ГДК валового вмісту важких металів спостерігали тільки по Cu у 1,5–2 рази, але, порівнюючи із фоновим вмістом на цій території, яка представлена дерново-підзолистими ґрунтами [14], спостерігали збільшення вмісту Zn і Mn у 1,5 та Cu у 40 разів. Перевищення кількості Pb спостерігається лише у субстраті під заростями куничника на схилі відвалу ЦЗФ із червоною породою (табл. 1). Отже, вміст цих ВМ є аномальним для прилеглої території, і важкі метали є потенційними забруднювачами оточуючих екосистем внаслідок їхнього вимивання та вивітрювання. Тому актуальним було дослідження ланцюга міграції та розподілу ВМ у органах куничника.

Одним із найбільш загальних показників, які характеризують накопичення мікроелементів, у тому числі і важких металів у рослин, є вміст у них зольних елементів. Найбільша озоленість *C. epigeios* по його частинах спостерігається у відпаді (8,5–17,4%), що свідчить про міграцію мікроелементів у мертві частини рослини. Практично на однаковому рівні є загальна озоленість у надземній та підземній фітомасі.

Таблиця 1

Уміст важких металів (мкг/г повітряно-сухого матеріалу) у надземній, підземній фітомасі *Calamagrostis epigeios* та субстраті породних відвалів ЦЗФ, шахти «Візейська» та «Надія»

Тип едафотопу та фітомаса рослин	Зольність, %	Уміст важких металів					
		Zn	Cd	Mn	Pb	Cu	Fe
Сформований відвал ЦЗФ							
*чорна порода	84,7	27,5	0,28	330	10,4	191,4	3655
*червона порода	94,2	26,8	0,38	363	7,8	128,6	6397
Схил (червона порода)							
Відпад	17,4	14,2	<0,05	45,6	1,7	3,7	524
надземна фітомаса	10,6	17,8	<0,05	49,7	< 0,05	1,8	44
підземна фітомаса	6,9	23,6	<0,05	46,4	< 0,05	4,1	116
Субстрат	93,6	22,5	<0,05	51,9	21,7	12,1	2972
Схил (чорна порода)							
Відпад	8,5	9,5	<0,05	35,1	1,3	4,5	291
надземна фітомаса	5,4	26,2	<0,05	94	< 0,05	9,6	55
підземна фітомаса	4,6	20,4	<0,05	21,2	< 0,05	8,7	148
Субстрат	84,2	12,7	<0,05	34,7	17,1	4	3369
Тераса (чорна порода)							
Відпад	9,8	16,7	<0,05	78,8	0,1	3,1	210
надземна фітомаса	9,1	7,6	<0,05	46,3	0,1	1,3	40
підземна фітомаса	10,3	32,9	<0,05	76,8	2,1	6,5	398
Субстрат	94,2	9,2	<0,05	25,9	8,5	6,4	3506
Природно зарослий відвал шахти «Візейська» (Тераса)							
Відпад	14,2	15,6	<0,05	88,2	1,9	2,2	215
надземна фітомаса	10,5	5,4	<0,05	50,8	< 0,05	1,9	30
підземна фітомаса	12,0	46,5	<0,05	35,8	2,4	5,9	174
Субстрат	82,5	11,7	<0,05	22,5	14,3	6	1680
Рекультивований відвал шахти «Надія» (Вершина)							
Відпад	15,1	24,6	0,26	155	5	39,4	910
надземна фітомаса	8,8	20,5	0,16	251	2,2	22,9	95
підземна фітомаса	4,5	41,3	0,23	436	6,3	61,7	2112
Субстрат	88,1	14,4	0,28	314	7,8	54,3	1117
ГДК	–	100	3	1500	30	100	–
Кларк за А. П. Виноградовим	–	50	0,5	850	10	20	38000
Фоновий вміст	–	13,6	–	207	11	5	8112

* Дані зі статті [5].

Аналізуючи вміст важких металів у надземних, підземних органах і відпаді куничника, слід зазначити, що відбувається селективне накопичення важких металів і їх перерозподіл по частинах рослин. Вміст важких металів також залежить від фази розвитку рослини та можливих взаємодій між хімічними елементами у ґрунті [22]. При аналізі вмісту важких металів у різних частинах куничника наземного було визначено, що більшість їх концентрується у кореневій частині рослини. Це можна пояснити тим, що корінь є первинним бар'єром при надходженні елементів із ґрунту в рослину. Особливо цікавим є накопичення заліза коренями та кореневищами *C. epigeios* на рекультивованому відвалі шахти «Надія», де його вміст у два рази більший, ніж у субстраті. Перерозподіл елементів між живими надземними органами і відпадом характеризується збільшенням їх в останніх. Отже, простежується така схема зменшення кількісного вмісту важких металів у субстраті та куничнику: субстрат, підземна фітомаса, відпад, надземна фітомаса.

Важливе значення також має ряд акумуляції важких металів рослинами, який розкриває особливості якісного їх розподілу. Аналізуючи усі дані по частинах рослин, на різних субстратах і елементах рельєфу спостерігали однакову закономірність. Ряд акумуляції починається Ферумом і закінчується Кадмієм, незалежно від типу субстрату, елементу рельєфу чи частини рослини. Винятком є лише надземна частина, де найбільше накопичується Mn, це можна пояснити як зниженням вмісту Феруму в надземній частині шляхом акумуляції його в підземній, так і збільшенням концентрації Мангану в листках і стеблі, який необхідний для процесів фотосинтезу, окиснення і відновлення Феруму, активності ферментів, які сприяють утворенню перекисів, що можуть бути сигнальними молекулами при стресових умовах [10]. Спостерігається також зворотна залежність між вмістом Pb та Cu у субстраті та частинах рослин. Це, очевидно, пов'язано із явищем антагонізму йонів.

Субстрат Fe→Mn→Zn→**Pb**→Cu→Cd
 Підземна фітомаса Fe→Mn→Zn→Cu→Pb→Cd
 Надземна фітомаса **Mn**→Fe→Zn→Cu→Pb→Cd
 Відпад Fe→Mn→Zn→Cu→Pb→Cd

Ще одним важливим показником є коефіцієнт нагромадження (КН) важких металів у рослинах, тобто відношення вмісту в рослині до вмісту металу у ґрунті. За його значенням рослини поділяють на три групи: рослини-гіперакумулятори, з вмістом ВМ набагато більшим за їх вміст у ґрунті (КН>1), рослини-індикатори з вмістом ВМ приблизно таким, як у ґрунті (КН≈1), та рослини-уникачі, у яких вміст ВМ значно менший за вміст у субстраті (КН<1) [13]. Проаналізовано велику вибірку, яка охоплює різні відвали вугільних шахт і елементи їхнього рельєфу, і тому можна констатувати, що кунічник наземний по таких елементах, як Cu, Mn, Cd та Zn, є індикатором, а по Fe та Pb – уникачем (табл. 2).

Таблиця 2

Вивчення коефіцієнта нагромадження важких металів у *Calamagrostis epigeios* за умов росту на породних відвалах ЦЗФ, шахти «Візейська» та «Надія»

Елемент рельєфу і тип субстрату	Коефіцієнт нагромадження важких металів (вміст у сухій масі рослини / вміст у ґрунті)					
	Zn	Cd	Mn	Pb	Cu	Fe
Сформований відвал ЦЗФ						
Схил (чорна порода)	0,92	–	0,93	–	0,24	0,03
Схил (червона порода)	1,84	–	1,66	–	2,25	0,03
Тераса (чорна порода)	2,2	–	2,38	–	0,6	0,06
Природно зарослий відвал шахти «Візейська»						
Тераса (суміш порід)	2,21	–	1,93	–	0,64	0,06
Рекультивованій відвал шахти «Надія»						
Вершина (ґрунтосуміш)	2,15	0,7	1,09	0,54	0,78	0,99

Уникання поглинання і накопичення ВМ, очевидно, є захисною адаптивною реакцією кунічника, яка відіграє важливу роль у здатності цього виду поселятися на техногенно деаерованих територіях, збільшуючи ареал свого існування. Одержані результати також вказують на те, що у процесі заростання породних відвалів вугільних шахт *C. epigeios* відбувається стабілізація вмісту важких металів у субстраті під його куртинами, що вказує на формування сприятливих умов техногенного едафотопу для формування рослинного покриву. Практичне значення заростання відвалів кунічником полягає у зв'язуванні субстратів його коренями та кореневищами, запобіганні вимиванню та видуванню важких металів з породи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баранов В. І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ «Львівсистем-енерго» як об'єкта для озеленення // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2008. Вип. 46. С. 172–178.
2. Баранов В. І., Книш І. Б. Хіміко-мінералогічний склад порід відвалу вугільних шахт ЦЗФ «Львівсистеменерго» та їх вплив на проростання насіння // Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку: Матер. V Міжнар. наук. конф. Донецьк, 2007. С. 36–37.
3. Баранов В. І., Гузь М. М., Гавриляк М., Ващук С. П. Вивчення вмісту важких металів у деревних рослин на дегазованих ґрунтах породного відвалу вугільних шахт // Наук. вісн. УкрДЛТУ. 2010. Вип. 20.1. С. 68–72.
4. Башуцька У. Б. Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району. Львів: РВВ НЛТУ України, 2006. 178 с.
5. Бешлей С. В., Баранов В. І., Ващук С. П. Оцінка токсичності субстратів відвалів вугільних шахт методом біотестування // Наук. вісн. Л.: УкрДЛТУ. 2011. Вип. 21.12. С. 98–102.
6. Білонога В., Малиновський А. Первинні сукцесії техногенних ландшафтів сірчаних родовищ // Екологічні проблеми природокористування та біорізноманіття Львівщини. Еколог. зб. Праці НТШ. Львів, 2001. Т. 7. С. 75–85.
7. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов. М.: Изд-во АН СССР, 1957.
8. Гладкова Л. И. Использование рекультивированных земель в сельском и лесном хозяйстве. М.: ВНИИТЭИСХ, 1977. 53 с.
9. Грешта Я. Укрепление склонов бросовых земель, образованных в результате промышленной эксплуатации недр земли, при помощи растительности (Польша) // Охрана природы на Урале. Свердловск, 1970. Вип. 7. С. 63–71.
10. Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений. К.: Наук. думка, 1964. 388 с.
11. Жуков С. П. Антропогенна сукцесія рослинності відвалів вугільних шахт: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. 03.00.16. Дніпропетровськ, 1999. 19 с.
12. Кормиков И. И. Ассортимент растений для озеленения коксохимических заводов // Интродукция и акклиматизация растений. К., 1986. Вип. 5. С. 15–18.
13. Кузнецов В. В., Дмитриева Г. А. Физиология растений. М.: Высш. шк., 2006. 742 с.
14. Матоліч Б. М., Ковальчук І. П., Іванов Є. А. та ін. Природні ресурси Львівщини. Львів: ПП Лукашук В.С., 2009. 120 с.
15. Махонина Г. И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1987. 176 с.
16. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометеоиздат, 1981.
17. Паньків З. Забруднення важкими металами ґрунтів міста Бурштин Івано-Франківської області // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. 2007. Вип. 34. С. 189–192.
18. Правила проведення біологічної рекультивації породних відвалів вугільних шахт України. Видання офіційне. К.: Мінвуглепром України, 2007. 30 с.
19. Прасад И. М. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами // Физиология растений. 2003. Т. 50. № 5. С. 764–780.
20. Промышленная ботаника / Е. Н. Кондратюк, В. П. Тарабрин, Р. И. Бурда и др. К.: Наук. думка, 1980. 260 с.
21. Фоно́вий вміст мікроелементів у ґрунтах України / За ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Пашенка. Харків, 2003. 117 с.
22. Mench M. Notions sur les elements en trace pour une qualite des solt et des produits vegetaux // Purpan. 1993. P. 118–127.

23. Raskin I., Ensley B. D. Phytoremediation of Toxic Metals. Using Plants to Clean Up the Environment // New York: Wiley and Sons. 2000. P. 685.

Стаття: надійшла до редакції 30.06.11

доопрацьована 26.09.11

прийнята до друку 27.09.11

THE CONTENT OF HEAVY METALS IN THE *CALAMAGROSTIS EPIGEIOS* (L.) ROTH UNDER THE CONDITIONS OF GROWTH ON SUBSTRATES OF COAL MINES ROCK DUMPS

S. Beshley¹, V. Baranov², V. Kozlovsky¹, M. Kozlovsky¹

¹*Institute of Ecology of the Carpathians of NAS of Ukraine
4, Kozelnytska St., Lviv 79026, Ukraine
e-mail: beshley.stepant@gmail.com*

²*Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine*

The distribution of heavy metals in the substrate underground, overground phytomass and dead parts of the *Calamagrostis epigeios* on rock dumps of the Chervonograd industrial coal-mining region are studied. It is shown that the gross content of Cu, Mn, Zn in *C. epigeios* was the same as in the substrate, but the gross content of Fe and Pb was much smaller. If the rock dumps overgrown of the in *C. epigeios* than stabilization the content of heavy metal in the substrate are occurred that indicates on the formation of technogenic soil conditions favorable for vegetation formation.

Key words: heavy metals, *Calamagrostis epigeios*, rock dump, index of heavy metals accumulation.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВЕЙНИКЕ НАЗЕМНОМ (*CALAMAGROSTIS EPIGEIOS* (L.) ROTH) В УСЛОВИЯХ РОСТА НА СУБСТРАТАХ ПОРОДНЫХ ОТВАЛОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

С. Бешлей¹, В. Баранов², В. Козловский¹, М. Козловский¹

¹*Институт экологии Карпат НАН Украины
ул. Козельницкая, 4, Львов 79026, Украина
e-mail: beshley.stepan@gmail.com*

²*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина*

Изучено распределение тяжелых металлов в субстрате, подземной, надземной фитомассе и отпаде вейника наземного на отвалах угольных шахт Червоноградского горнопромышленного района. Показано, что валовое содержание Cu, Mn, Zn в вейнике наземном является практически таким, как в субстрате, а содержание Fe и Pb значительно меньше. При зарастании породных отвалов вейником наземным происходит стабилизация содержания тяжелых металлов в субстрате, что указывает на формирование благоприятных условий техногенного эдафотопы для формирования растительного покрова.

Ключевые слова: тяжелые металлы, *Calamagrostis epigeios*, породный отвал, коэффициент накопления тяжелых металлов.