

**НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ОРГАНАХ РОСЛИН ГІРЧАКА
ЯПОНСЬКОГО (*POLYGONUM CUSPIDATUM* SIEB. ET ZUCC)
ТА КРЕМЕНИ ГІБРИДНОЇ (*PETASITES HIBRIDUS* L.) ЗА ДІЇ
ВИТЯЖОК СУБСТРАТІВ ВІДВАЛУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ**

С. Ващук¹, В. Баранов¹, А. Баня², З. Фецько¹, Л. Карпинець¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка

вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

²Відділення фізико-хімії горючих копалин

Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії

імені Л. М. Литвиненка НАН України

вул. Наукова, 3а, Львів 79053, Україна

e-mail: sergijvaschuk@gmail.com

Вивчено розподіл важких металів у органах *Polygonum cuspidatum* і *Petasites hybridus* за впливу водних витяжок зі субстратів породного відвалу вугільних шахт. Показано, що відбувається збільшення вмісту важких металів у органах рослин.

Ключові слова: зольність, важкі метали, *Polygonum cuspidatum*, *Petasites hybridus*, породний відвал.

Проблема забруднення навколишнього середовища важкими металами (ВМ) на сьогоднішній день є достатньо важливою [6, 7, 12, 15–17]. Особливо це актуально для техногенно забруднених територій [9, 10]. У контексті цієї проблеми важливим є вивчення перерозподілу ВМ між ґрунтом і рослинами для з'ясування фітореMediaційних властивостей останніх [5, 11, 13]. Прикладом таких антропогенно порушених ґрунтів є території відвалів вугільних шахт.

Львівсько-Волинський вугільний басейн у межах Львівської та Волинської областей України, а також Люблінського воєводства Польщі охоплює площу близько 10 тис. км². Видобуток вугілля західноукраїнським гірничо-видобувним виробничим комплексом триває уродовж 60 років. Як і кожне виробництво, вугільна промисловість має відходи, якими є пуста порода, що залишається після видобутку вугілля, і їх накопичення призводить до утворення відвалів – териконів.

З 1979 р. почала своє виробництво Центральна збагачувальна фабрика (ЦЗФ), що розташована у с. Сілець Сокальського р-ну Львівської обл. У результаті її діяльності сформований відвал загальною площею понад 76 гектарів і формується вже другий [3, 4]. Понад 70% субстрату відвалу складається із глинистих аргілітів, що сприяє сорбції хімічних елементів (Li, V, B, P, Zn, Pb, Bi, Co) [2]. Вони є дуже крихкими і мають майже провальну водопроникність [19], стічним водам відвалів властивий низький рівень рН=3–4, у субстратах міститься високий відсоток важких металів (в окремих місцях відбору перевищення ГДК по кількох елементах у 6–8 разів), у субстраті відвалу практично відсутня органічна речовина (вміст її менше 1–2%), – всі ці показники характеризують субстрати відвалу як малосприятливі для росту рослин, а відвал ЦЗФ – як техногенно забруднену територію [3]. Фіторекультивация є найбільш економічно й екологічно вигідним засобом рекультивации [8], однак потребує підбору стійких до умов відвалу рослин – концентраторів важких металів (гіперакумуляторів), які можуть виконувати функції фітореMediaції [1, 20].

Показано, що в біогеохімічних провінціях, збагачених важкими металами, рівень вмісту їх у рослинах вищий, ніж у зональній рослинності [23]. Тому важливим є дослідження накопичення важких металів рослинами зі субстратів відвалів для відбору рослин – гіперакумуляторів металів.

Метою роботи була перевірка здатності накопичувати важкі метали таких рослин, як кремена гібридна (*Petasites hybridus* L.), яка поширена по всій Україні та має значну фітомасу, і гірчак японський (*Polygonum cuspidatum* Sieb. Et Zucc.), оскільки є відомості, що дуже близький до нього вид, гірчак сахалінський (*Polygonum sachalinensis* Fr. Schmidt), в умовах Німеччини дає за рік 200–300 т зеленої маси з гектара, екстрагуючи з ґрунту до 24 кг свинцю і 322 кг цинку [22].

Матеріали та методи

Кореневу систему рослини замочували у витяжках зі субстратів, які використовувались як реальний чинник токсичності субстратів відвалу (у співвідношенні 1:10), в які екстрагувалися рухомі форми ВМ і які одночасно мали рН відповідних субстратів ґрунту відвалу. За контроль слугували рослини, які росли в ботанічному саду ЛНУ імені Івана Франка (м. Львів). Через 3 доби органи рослин подрібнювали, висушували до повітряно-сухої маси та для визначення важких металів (ВМ) проби спалювали у фарфорових тиглях у муфельній печі за температури 400–450°C протягом 2 год до отримання однорідного кольору золи. Після охолодження наважки золи розчиняли у амонійно-ацетатному буфері рН 4,8, фільтрували розчини через фільтр Шота № 3 під вакуумом і визначали вміст елементів на атомно-адсорбційному спектрофотометрі ААС-115 зі селективними світлофільтрами. Проби брали у триразовій повторності і при $P=0,95$ похибка не перевищувала 7%, при допустимій похибці приладу 10% [25].

Для перерахунку вмісту важких металів на рослину та гектар зважували дорослі рослини, визначали кількість особин на 1 м², після чого теоретично розраховували кількість рослин на 1 га, їх масу та кількість ВМ, які ними екстрагуються.

Результати і їхнє обговорення

При визначенні вмісту води у органах кремени виявилось, що найменший її вміст був у коренях, середній у листках і найбільший у черешках листка рослин. Вміст води по органах гірчаку японського збільшувався від коренів до пагонів, із максимумом у листках.

При визначенні вмісту золи у кремені гібридної (табл. 1) спостерігалось зростання її вмісту в усіх частинах рослини: у листках до 167% на витяжці з червоного субстрату, у черешках листка до 171% на витяжці з чорного субстрату та до 163% в коренях порівняно з контролем. Отримані результати свідчать про досить високу здатність до накопичення зольних елементів цією рослиною.

На відміну від кремени, у всіх частинах рослини гірчаку спостерігалось зниження відсотка зольності, порівняно з контролем, крім листків на витяжці з червоного субстрату, де вміст її сягав 117%. Це свідчить про різні бар'єрні механізми поглинання мінеральних елементів із розчину та селективне їх накопичення в різних частинах рослин. Найбільша зольність була у коренях і листках рослини, тобто корінь вочевидь виступав первинним бар'єром при надходженні елементів із розчину в рослину, а листки були накопичувачами мінеральних елементів. Роль пагона полягає у переносі мінеральних елементів із кореня у листки, що пояснює незначну зольність у ньому.

Як відомо, рослини поділяються на три основні групи, які розрізняються за механізмом стійкості до високого вмісту ВМ у ґрунті: рослини–гіперакумулятори, з вмістом ВМ, набагато більшим за їх вміст у ґрунті, рослини–індикатори з вмістом ВМ, приблизно

таким, як у ґрунті, і рослини–унікачі, у яких вміст ВМ значно нижчий за вміст у субстраті [14]. Який із цих механізмів накопичення виявиться у вищезгаданих рослин, у даних умовах було невідомо, і для з'ясування типу механізму накопичення ВМ був проведений аналіз їх вмісту в органах рослин кремені гібридної та гірчаку японського.

Таблиця 1

Вміст води і золи в органах рослин кремені гібридної та гірчаку японського

Ґрунт/колір субстрату	% води (від сирової маси)	% до контролю	% золи (від сухої маси)	% до контролю
	M±m		M±m	
Кремена гібридна				
Листки				
Контроль	58,5±1,8	100	10,7±0,7	100
Чорний	55,0±1,8	93	16,9±0,6	157
Червоний	54,8±1,3	93	17,9±0,4	167
Черешок листка				
Контроль	64,0±2,0	100	11,0±0,7	100
Чорний	65,5±1,8	103	18,8±0,3	171
Червоний	65,5±1,6	103	17,5±0,3	159
Корінь				
Контроль	46,0±2,1	100	3,8±0,4	100
Чорний	46,0±2,3	100	6,2±0,3	163
Червоний	49,5±3,4	109	5,2±0,6	137
Гірчак японський				
Листки				
Контроль	42,3±0,8	100	4,7±0,1	100
Чорний	43,5±1,6	105	4,3±0,3	91
Червоний	42,5±2,6	102	5,5±0,3	117
Пагін				
Контроль	32,9±1,8	100	7,3±0,3	100
Чорний	34,5±1,6	106	3,1±0,5	42
Червоний	35,5±2,7	109	5,3±0,5	73
Корінь				
Контроль	31,8±1,9	100	4,4±0,2	100
Чорний	26,5±2,1	84	4,0±0,3	91
Червоний	28,8±1,7	91	2,7±0,1	61

Важкі метали за ступенем екологічної безпеки для ґрунтів, рослин, тварин і людини згідно з ДЕСТу 17.4.02-8.3 поділяються на три класи: до першого належать високонебезпечні елементи (As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, F); до другого – середньонебезпечні (B, Co, Ni, Mo, Sb Cz); до третього – малонебезпечні (Ba, V, Mn, Sr) [24].

У рослин кремені на витяжці з червоного (перегорілого) субстрату відвалу спостерігалось збільшення вмісту всіх важких металів у листках і їх черешках, а у коренях збільшення спостерігалось тільки по двох металах – кадмію та свинцю – 1539 і 260% відповідно, ці два ВМ належать до найбільш токсичних. На витяжках чорної породи спостерігалась інша картина накопичення ВМ – максимум накопичення всіх металів у листках і поступове зменшення у пагонах і коренях.

Гірчак, як і кремена, у листках мав перевищення по вмісту всіх ВМ на обох субстратах. У пагоні спостерігалось тільки перевищення вмісту кадмію на обох витяжках – 578% на витяжці з чорного та 652% червоного субстратів, тоді як вміст інших елементів у пагоні гірчаку був меншим за контроль. У коренях, як і в листках, збільшувався вміст усіх ВМ (крім цинку) на витяжці з чорного субстрату, на витяжці з червоного субстрату вміст усіх елементів був меншим за контроль.

Таблиця 2

Важкі метали	Вміст ВМ (мг/кг повітряно-сухої маси)					
	Листки					
	Контроль	% до контролю	Чорний субстрат	% до контролю	Червоний субстрат	% до контролю
Cu	1,571	100	7,113	453	1,854	118
Pb	5,104	100	16,768	329	15,948	312
Ni	1,173	100	2,209	188	3,573	305
Cd	0,150	100	1,395	931	0,707	472
Zn	22,100	100	52,702	238	33,754	153
Важкі метали	Черешок листка					
	Контроль	% до контролю	Чорний субстрат	% до контролю	Червоний субстрат	% до контролю
	Cu	1,126	100	6,824	606	1,955
Pb	6,857	100	14,417	210	22,409	327
Ni	1,235	100	1,022	83	6,060	491
Cd	0,566	100	0,416	73	2,140	378
Zn	32,186	100	31,171	97	37,154	115
Важкі метали	Корінь					
	Контроль	% до контролю	Чорний субстрат	% до контролю	Червоний субстрат	% до контролю
	Cu	0,885	100	0,153	17	0,335
Pb	2,231	100	3,557	159	5,811	260
Ni	0,633	100	0,471	74	0,529	84
Cd	0,338	100	0,061	18	5,195	1539
Zn	21,395	100	15,083	70	27,216	127

Таблиця 3

Важкі метали	Вміст ВМ (мг/кг повітряно-сухої маси)					
	Листки					
	Контроль	% до контролю	Чорний субстрат	% до контролю	Червоний субстрат	% до контролю
Cu	1,098	100	2,635	240	1,805	164
Pb	5,895	100	3,984	68	7,533	128
Ni	1,131	100	1,555	137	1,207	107
Cd	0,076	100	0,313	410	0,100	130
Zn	23,847	100	26,796	112	31,501	132
Важкі метали	Пагін					
	Контроль	% до контролю	Чорний субстрат	% до контролю	Червоний субстрат	% до контролю
	Cu	1,590	100	0,766	48	1,069
Pb	5,562	100	1,837	33	5,189	93
Ni	2,147	100	0,893	42	0,314	15
Cd	0,054	100	0,313	578	0,353	652
Zn	37,765	100	14,760	39	24,881	66
Важкі метали	Корінь					
	Контроль	% до контролю	Чорний субстрат	% до контролю	Червоний субстрат	% до контролю
	Cu	0,813	100	1,322	163	0,068
Pb	2,336	100	4,164	178	0,791	34
Ni	0,669	100	1,394	208	0,016	2
Cd	0,075	100	0,241	319	0,027	36
Zn	13,285	100	8,944	67	3,695	28

Виявлено, що в усіх частинах рослин тією чи іншою мірою спостерігалось збільшення вмісту ВМ порівняно з контрольними рослинами, які росли в ботанічному саду, окрім їх вмісту в коренях гірчаку на витяжці з червоного субстрату, де вміст усіх елементів був меншим за контроль.

Зміни у накопиченні ВМ по органах рослин поки що важко пояснити, скоріше всього це пов'язано з видовими відмінностями. Більш цікавим є накопичення ВМ усією рослиною, що характеризує її фітореMediaційні властивості, тому був проведений теоретичний обрахунок кількості й маси рослин на гектар (га) і кількість винесених цією масою рослин важких металів (табл. 4).

Обрані для дослідження рослини мають високу щільність в угрупованні, яке формують, і накопичують значну фітомасу, що є дуже важливим при фітореMediaції ґрунтів, забруднених важкими металами. З перерахунку як на дорослу рослину, так і з території площею в 1 га спостерігається збільшення вмісту ВМ – так кремена гібридна накопичувала ВМ у всіх варіантах, від 129% по Ni до 466% по Cu на чорному субстраті й від 130% по Zn до 556% по Cd на червоному. Гірчак японський поглинав Cd у досить значних концентраціях, – до 300% на червоному та до 457% на чорному субстратах, тоді як по Pb спостерігалось тільки незначне перевищення на червоному та по Cu на чорному субстратах.

Таблиця 4

Кількість поглинутих важких металів кременою гібридною і гірчаком японським на різних субстратах

Важкі метали	Вміст ВМ (мг/рослину)					
	Контроль	% до контролю	Чорний субстрат	% до контролю	Червоний субстрат	% до контролю
Кремена гібридна						
Cu	0,699	100	3,262	466	0,915	131
Pb	2,966	100	7,554	255	9,406	317
Ni	0,612	100	0,791	129	2,288	374
Cd	0,194	100	0,427	220	1,077	556
Zn	14,360	100	20,757	145	18,699	130
Гірчак японський						
Cu	0,599	100	0,777	130	0,591	99
Pb	2,485	100	1,447	58	2,649	107
Ni	0,711	100	0,586	82	0,312	44
Cd	0,031	100	0,143	458	0,094	302
Zn	13,410	100	9,044	67	11,750	88
Важкі метали	Вміст ВМ (мг/га)					
	Контроль	% до контролю	Чорний субстрат	% до контролю	Червоний субстрат	% до контролю
Кремена гібридна						
Cu	27,97	100	130,59	466	36,59	131
Pb	118,66	100	376,24	255	376,24	317
Ni	24,47	100	91,53	129	91,53	374
Cd	7,75	100	43,09	220	43,09	556
Zn	574,41	100	747,97	145	747,97	130
Гірчак японський						
Cu	470,87	100	610,72	130	462,61	98
Pb	1949,42	100	1142,19	59	2072,77	106
Ni	557,79	100	462,14	83	243,81	44
Cd	24,59	100	112,29	457	73,75	300
Zn	10520,18	100	7094,80	67	9195,86	87

Таким чином, гірчак японський і кремена гібридна виявились акумуляторами важких металів, а по деяких елементах (зокрема, по кадмію) навіть гіперакумуляторами, що дає змогу говорити про перспективи використання цих рослин для фіторекультиваци відвалів вугільних шахт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Алексеев Ю. В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, 1987. 142 с.
2. Аналітична довідка Управління охорони навколишнього природного середовища у Львівській області по Сокальському адміністративному району та Червоноградському промисловому району станом на 01.01.2007 р.
3. *Баранов В. І.* Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ «Львівсистеменерго» як об'єкта для озеленення // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2008. Вип. 46. С. 172–178.
4. *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: мат-ли V Міжнар. наук. конф. Донецьк, 2007. С. 36–37.
5. *Бортник Л. М.* Забруднення ґрунту важкими металами та стан рослинності на території міста Харкова // Агрохімія та ґрунтознавство: спец. вип. до V з'їзду ґрунтознавців. Харків, 1998. Ч. IV. С. 207–214.
6. *Валерко Р. А.* Забруднення важкими металами ґрунтового покриву і фітоценозів на території м. Житомира та прилеглих до нього агроєкосистем // Вісн. ДАЕУ. 2008. № 1. С. 356–366.
7. *Гамкало З.* Градієнтний аналіз вмісту важких металів в едафотопі агроландшафтів західного лісостепу України // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. 2004. Вип. 31. С. 246–252.
8. *Гуральчук Ж. З., Гудков І. М.* Фіторе mediaція та її роль в очищенні ґрунтів від важких металів та радіонуклідів // Физиология и биохимия культ. растений. 2005. Т. 37. № 5. С. 371–383.
9. *Книш І. Б., Харкевич В. В.* Розподіл вмісту хімічних елементів у породах териконів Червоноградського гірничо-промислового району // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. 2003. Вип. 17. С. 148–158.
10. *Ковальчук І. П., Рудько Г. І.* Геоєкологічний аналіз гірничопромислових систем Західноукраїнського пограниччя // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геогр. 1997. Вип. 20. С. 8–16.
11. *Козловський В.* Кореляційні зв'язки між вмістом хімічних елементів у мохах, лишайниках і корі хвойних порід Чорногори (Українські Карпати) // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2008. Вип. 47. С. 81–88.
12. *Козловський В., Пука Є., Воронцов Д., Романюк Н.* Оцінка еколого-геохімічної стійкості екосистем Сколівських Бескидів (Українські Карпати) до важких металів та кислих опадів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2007. Вип. 45. С. 91–101.
13. *Козловський В., Романюк Н., Терек О.* та ін. Важкі метали у ґрунтах та рослинах заплави ріки Тиса // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2005. Вип. 40. С. 35–50.
14. *Кузнецов В. В., Дмитриева Г. А.* Физиология растений. М.: Высш. школа, 2006. 742 с.
15. *Лебедева О. Ю.* Геоэкологическая оценка распределения валовых форм тяжелых металлов в почвах Костромской области: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36. СПб., 2011. 21с.
16. *Мислива Т. М., Онопрієнко Л. О.* Важкі метали в урбоедафотопі і фітоценозах на території м. Житомира // Вісн. ХНАУ. 2009. № 1. С. 89–95.
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. *Пересипкіна Т., Дубова О., Фендер Л.* Фізіолого-біохімічні особливості рослин в умовах промислового середовища // Укр. ботан. журн. 1997. Т. 54. С. 469–473.

19. Почвоведение / под ред. И. С. Кауричева. М.: Агропромиздат, 1989. 719 с.
20. Прасад И. М. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами // Физиология растений. 2003. Т. 50. № 5. С. 764–780.
21. Растения в экстремальных условиях минерального питания: Эколого-физиологические исследования / под ред. М. Я. Школьника, Н. В. Алексеевой-Поповой. Л.: Наука, 1983. 176 с.
22. Школьник М. Я., Алексеева-Попова М. В. Растения в экстремальных условиях минерального питания. Л.: Наука, 1983. С. 82–129.
23. Bild der Wissenschaft // Наука и жизнь. 1992. № 8. С. 47.
24. http://agrowiki.nubip.edu.ua/wiki/index.php/Забруднення_грунту_важкими_металами.
25. <http://www.google.com.ua/url?sa=t&rcct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&ved=0CDUQFjAE&url=ftp%3A%2F%2Flib.sumdu.edu.ua%2Frio%2F2010%2Fm2732.doc&ei=CFBgUIDyFIThtQbVqYHQcw&usg=AFQjCNH4sYzxXOxgjtrAMMHuoWmT0DM3pQ>.

Стаття: надійшла до редакції 21.08.12

прийнята до друку 26.09.12

FEATURES OF HEAVY METALS ACCUMULATION IN PLANTS ORGANS *POLYGONUM CUSPIDATUM* SIEB. ET ZUCC AND *PETASITES HIBRIDUS* L.

S. Vaschuk¹, V. Baranov¹, A. Banya², Z. Fetcko¹, L. Karpinets¹

¹Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine

²Physical Chemistry of Combustible Minerals Department of the L.M. Lytvynenko
Institute of Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry of NAS of Ukraine
3a, Naukova St., Lviv 79053, Ukraine
e-mail: sergijvaschuk@gmail.com

The distribution of heavy metals in organs of *Polygonum cuspidatum* and *Petasites hybridus* was studied under the influence of aqueous extracts of substrates dumps of coal mines. It was shown that there was an increase of heavy metals in the plants organs.

Keywords: ash content, heavy metals, *Polygonum cuspidatum*, *Petasites hybridus*, rock dumps.

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОРГАНАХ РАСТЕНИЙ ГОРЦА ЯПОНСКОГО (*POLYGONUM CUSPIDATUM* SIEB. ET ZUCC.) И БЕЛОКОПЫТНИКА ГИБРИДНОГО (*PETASITES HIBRIDUS* L.) ПРИ ДЕЙСТВИИ ЭКСТРАКТОВ СУБСТРАТОВ ОТВАЛА УГОЛЬНЫХ ШАХТ

С. Ващук¹, В. Баранов¹, А. Баня², З. Фецко¹, Л. Карпинец¹

¹Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина

²Отделение физико-химии горючих ископаемых
Институт физико-органической химии и углехимии имени Л.М.Литвиненко
НАН Украины
ул. Научная, 3а, Львов, 79053, Украина
e-mail: sergijvaschuk@gmail.com

Изучено распределение тяжелых металлов в органах *Polygonum cuspidatum* и *Petasites hybridus* при действии водных экстрактов из субстратов породного отвала угольных шахт. Показано, что происходит увеличение содержания тяжелых металлов в органах растений.

Ключевые слова: зольность, тяжелые металлы, *Polygonum cuspidatum*, *Petasites hybridus*, породный отвал.