

---

---

УДК 504.064

**Демура В.І.**

**Готвянська В.О.**

(ДВНЗ «ДНУ ім. О. Гончара»)

**Павличенко А.В.**, канд. біол. наук, доцент

(ДВНЗ «НГУ»)

**РОЗПОДІЛ ТА НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В РОСЛИНАХ  
ТА ҐРУНТАХ НА ТЕРИТОРІЯХ РОЗМІЩЕННЯ ВІДХОДІВ  
ВУГЛЕВИДОБУТКУ**

**Демура В.И.**

**Готвянская В.О.**

(ГВУЗ «ДНУ им. О. Гончара»)

**Павличенко А.В.**, канд. биол. наук, доцент

(ГВУЗ «НГУ»)

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В  
РАСТЕНИЯХ И ПОЧВАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАЗМЕЩЕНИЕ  
ОТХОДОВ УГЛЕДОБЫЧИ**

**Demura V.I.**

**Hotvianska V.O.**

(SHEI “DNU of Oles Honchar”)

**Pavlychenko A.V.**, Ph.D. (Biol.), Senior Lecturer

(SHEI “NMU”)

**HEAVY METAL DISTRIBUTION IN AND ACCUMULATION BY  
PLANTS AND SOILS IN THE WASTE DUMP AREAS**

**Анотація.** Відходи вугледобувної промисловості є масштабними джерелами негативного впливу на об'єкти довкілля. Відходи вуглевидобутку вміщують значну кількість важких металів, які є особливо небезпечними для живих організмів. Тому дослідження рівнів забруднення об'єктів довкілля на територіях розміщення породних відвалів вугільних шахт є актуальними.

Проаналізовані особливості впливу відходів вуглевидобутку на рівень забруднення ґрунтів та рослин важкими металами. Обґрунтована схема відбору зразків об'єктів для вивчення особливостей міграції важких металів з породних відвалів. Встановлено особливості розподілу важких металів у ґрунтах на різній відстані від породного відвалу шахтних порід. Досліджено розподіл та накопичення важких металів I та II класу безпеки у ґрунтах та дикорослих трав'яних рослинах. Визначені коефіцієнти біологічного накопичення та особливості поглинання рухомих форм важких металів однорічними та багаторічними рослинами.

**Ключові слова:** відходи вуглевидобутку, важкі метали, ґрунти, рослини.

**Вступ.** Видобуток та подальша переробка корисних копалин – одні з найбільш потужних видів техногенезу. Вплив гірничодобувної промисловості на природне

середовище збільшується та охоплює все більші території. Площі майже повного знищення природних ландшафтів, що зайняті шахтами, кар'єрами, відвалами порід і відходами первинного збагачення досить значні. На цих ділянках формуються особливі техногенні ландшафтно-геохімічні системи – гірничопромислові ландшафти [1]. Більш ніж двохсотрічний розвиток добувної та гірничопереробної промисловості зумовив істотне забруднення екосистем важкими металами [2, 3].

Невід'ємною частиною природних та антропогенних ландшафтів і найважливішою ланкою біогеохімічного кругообігу речовин є рослини. Аналіз літературних даних показав, що хімічний склад рослин вивчений досить добре. Встановлено здатність рослин поглинати з навколишнього середовища у більших або менших кількостях практично всі відомі хімічні елементи, зокрема важкі метали [1, 4].

Порушення екологічної рівноваги у природі впливає в першу чергу на ґрунт та рослини, оскільки вони є головними акумуляторами важких металів. В мікробіологіях більшість важких металів необхідна для нормального функціонування живих організмів, у високих концентраціях та при сумарному впливі вони стають небезпечними забруднювачами природного середовища. Оскільки рослини мають здатність поглинати з навколишнього середовища у більших або менших кількостях сполуки важких металів [4], їх можна використовувати як індикатор, що дозволить визначити ступінь забруднення ґрунтів важкими металами. Тому дослідження шляхів міграції важких металів в компонентах навколишнього середовища в гірничодобувних регіонах є актуальними.

**Теоретична частина.** У ґрунті важкі метали знаходяться в різних формах і в залежності від типу ґрунту та конкретних ґрунтово-екологічних умов співвідношення цих форм відрізняється. Більша частина важких металів знаходиться в твердій фазі ґрунту, а менша в рухомій фракції, яка є доступною рослинам.

Надходження хімічних елементів в рослини відбувається за рахунок активного контакту коренів з частками і мінералами ґрунту шляхом так званого контактного поглинання. Його сутність полягає в обміні виділених коренями рослин іонів водню - органічних кислот на іони металів. Інтенсивність поглинання рослинами іонів металів з твердої фази може змінюватись в сотні і тисячі разів. Залежить вона від фізико-хімічних властивостей ґрунту (типу і гранулометричного складу, вмісту органічних речовин, рН та ін.) і особливостей рослини (морфо-анатомічних, фізіолого-біохімічних тощо).

Важкі метали в житті рослин відіграють подвійну роль: з одної сторони вони є необхідним компонентом в метаболізмі рослин, з іншої сторони у підвищених концентраціях в ґрунтовому розчині вони здатні накопичуватися в рослинах та чинити на них токсичну дію. Визначення хімічного складу рослин дозволяє встановити критерії індикаторної здатності видів рослин, а також можливість використовувати їх у якості високочутливих біоіндикаторів і біомоніторів рівнів забрудненості ґрунтів важкими металами.

Тому мета роботи полягає у дослідженні розподілу та накопичення важких металів I та II класу небезпеки у ґрунтах та дикорослих трав'яних рослинах, що ростуть на територіях розміщення відходів гірничодобувної галузі.

Об'єктом дослідження були зразки ґрунту та рослинності, відібрані на різних відстанях від відвалу шахтних порід на території Західного Донбасу. У якості моніторингових фітооб'єктів були обрані однорічні трав'яні рослини (дурнишник звичайний, лобода біла) та багаторічні трав'яні рослини (льнянка звичайна, полин звичайний, полин гіркий, піжмо звичайне та деревій звичайний).

**Експериментальна частина.** Для оцінки рівнів забруднення ґрунтів та рослин на територіях розміщення породних відвалів вугільних шахт були вибрані моніторингові ділянки, які розташовані біля основи (низу) та навколо відвалу шахтних порід на відстані 50, 100 та 200 м. На кожній моніторинговій точці проводили відбір зразків ґрунтів з ґрунтово-рослинного шару (0-5 см) та дикорослих однорічних та багаторічних рослин.

У пробах ґрунту визначали вміст рухомих форм важких металів I класу небезпеки (*Zn, Pb, Cd*) та II класу небезпеки (*Ni, Co, Cu, Cr*). Визначення вмісту досліджуваних металів проводили за допомогою методу атомної абсорбції у полум'ї ацетилен – повітря на атомно-абсорбційному спектрофотометрі.

Для виявлення ступеню поглинання важких металів з досліджуваних зразків ґрунту у системі «ґрунт – рослина» проведено хімічний аналіз вмісту в рослинах важких металів I класу небезпеки (*Zn, Pb, Cd*) та II класу небезпеки (*Ni, Co, Cu, Cr*).

Кількісну оцінку надходження токсичних мікроелементів з ґрунту в рослинність проводили розраховуючи коефіцієнт біологічного накопичення (КБН), який визначається співвідношенням вмісту металу в одиниці маси акцептора (рослини в перерахунку на її суху масу) і донора (ґрунту)

$$K_H = \frac{C_P}{C_G} \quad (1)$$

де  $K_H$  – коефіцієнт біологічного накопичення;  $C_P$  – вміст металу в рослині, мг/кг;  $C_G$  – вміст металу в ґрунтовому покриві, мг/кг.

**Результати та їх обговорення.** Результати хімічного аналізу вмісту важких металів у ґрунтах наведено на рис. 1.

Аналіз даних рис. 1 виявив, що розподіл важких металів у ґрунтах розташованих на різних відстанях від відвалу шахтних порід характеризується значною неоднорідністю. Мінімальне й максимальне значення концентрацій рухомих форм металів відрізняється до 10 разів. Так, вміст рухомих форм сполук кадмію змінюється в діапазоні від 1,5 до 15 мг/кг, сполук свинцю від 1 до 8 мг/кг, нікелю від 0 до 3 мг/кг. При віддаленні від породного відвалу спостерігається зменшення концентрації рухомих форм сполук цинку, свинцю, нікелю, кобальту та хрому, а концентрація сполук кадмію навпаки збільшується.

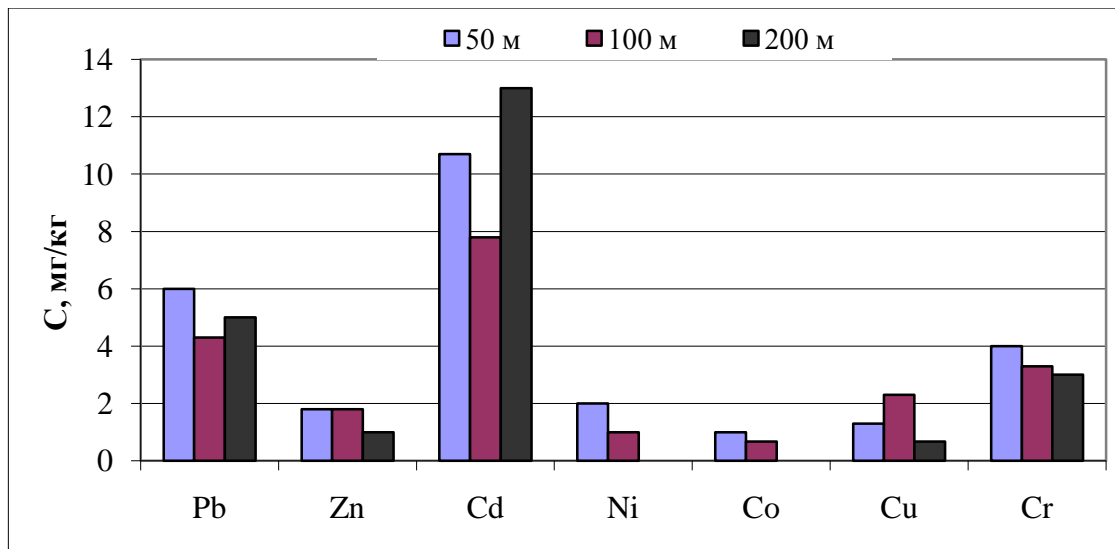


Рис. 1 – Середній вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах залежно від відстані до відвалу

Отримані дані свідчать про те, що середній вміст рухомих форм важких металів I класу небезпеки складає 14,5 % та II клас небезпеки – 5,4 %. В найбільших концентраціях в ґрунтах виявлені такі важкі метали, як кадмій, свинець та хром.

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті можна розташувати в наступний ряд:  $Cd > Pb > Cr > Zn > Cu > Ni > Co$ . Такий розподіл вказує про можливість надходження значної кількості сполук важких металів I класу небезпеки з ґрунтів у рослини та таким чином опосередковано впливати на стан здоров'я населення.

Результати розрахунків коефіцієнтів біологічного накопичення за середніми величинами вмісту металів в рослинах наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти біологічного накопичення важких металів рослинами

№ проби	Рослини у пробі	Pb	Zn	Cd	Cu	Ni	Co	Cr
1	Дурнишник звичайний	0	0	0,13	0	0,16	0,88	0,90
2	Лобода біла	0,75	7,75	0,13	3,91	0,52	0,87	1,50
3	Льнянка звичайна	0,83	32,74	0,07	1,11	0,50	0,75	0,50
4	Полин звичайний	1,15	50,28	0,09	5,33	0,50	0,99	0,60
5	Полин гіркий, піжмо звичайне	1,60	97,50	0,06	9,25	0	0	0,50
6	Деревій звичайний	0	36,26	0,05	0	0	0	0

З отриманих даних видно, що згідно зі шкалою І.А. Авессаламова та В.В. Добровольського [5, 6] до елементів сильного накопичення ( $КБН > 1$ ) відносяться важкі метали I класу небезпеки: цинк для усієї досліджуваної нами рослинності, окрім дурнишника звичайного і свинець для полину звичайного, пі-

жмо звичайної та полину гіркою, а також мідь (II клас небезпеки) для усіх рослин окрім дурнишника звичайного та деревія звичайного. Слабке накопичення (КБН<1) характерне щодо нікелю, кобальту, хрому (II клас небезпеки) та кадмію (I клас небезпеки), як для однорічних, так і для багаторічних рослин, а також свинцю відносно лободи білої та льнянки звичайної.

Здатність рослин акумулювати в своїй біомасі значну кількість важких металів пов'язано зі значним вмістом специфічних клітин, здатних надійно пов'язувати ці елементи, послаблюючи тим самим їх токсичну дію і зберігаючи можливість до репродукції інших клітин рослин. Таким чином елементами сильного накопичення як для однорічних так і для багаторічних досліджуваних нами трав'яних рослин є цинк і мідь, а елементами слабого накопичення – нікель і кадмій.

Це додатково ілюструють порівняльні ряди інтенсивності накопичення рухомих форм вмісту досліджуваних важких металів.

Однорічні трав'яні рослини:

$Zn > Cu > Cr > Co > Pb > Ni > Cd$ .

Багаторічні трав'яні рослини:

$Zn > Cu > Pb > Co > Cr > Ni > Cd$ .

На підставі отриманих даних про коефіцієнти біологічного накопичення для кількісного вираження загальної здатності рослинності до концентрації рухомих форм важких металів розрахований показник біогеохімічної активності (БХА) досліджуваних рослин, який характеризує сумарну ступінь накопичення важких металів в рослині, тобто на скільки активно рослина поглинає рухомі форми важких металів з ґрунту. Отримані значення показника БХА для всіх досліджуваних рослин приведені на рис. 2.

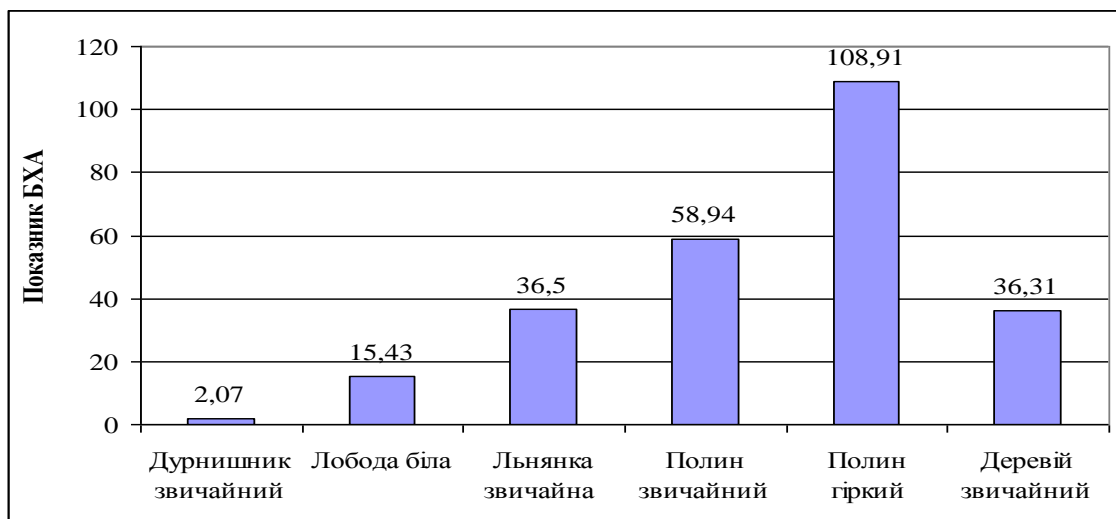


Рис. 2 – Показник біогеохімічної активності трав'яних рослин

Аналіз даних рис. 2 виявив, що серед різнотрав'я зібраного поблизу відвалу, найбільша біогеохімічна активність по відношенню до важких металів I та II класу небезпеки характерна для таких багаторічних трав'яних рослин як полин звичайний, полин гіркий та піжмо звичайне. Найменша біогеохімічна актив-

ність характерна для дурнишника звичайного, який є однорічною трав'яною рослиною. Це пов'язано з тим, що дурнишник звичайний має бар'єрні властивості накопичення щодо рухомих форм важких металів.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень встановлено рівні забруднення ґрунтів та рослин на різних відстанях до породних відвалів вугільних шахт. Виявлені рівні забрудненості ґрунтів та рослин на територіях розміщення відходів вуглевидобутку вказують на високу міграційну активність важких металів.

Дослідження біогеохімічної активності рослин виявили, що такі багаторічні трав'яні рослини – полин звичайний, полин гіркий, піжмо звичайне мають високу здатність накопичувати важкі метали, що дозволяє використовувати ці рослини як індикатори забруднення територій техногенного навантаження. Крім того, ці рослини можуть в подальшому використовуватися для фітореміністрації ґрунтів забруднених важкими металами.

Таким чином, встановлені закономірності міграційної здатності важких металів в системі «ґрунт-рослина» можуть використовуватися в моніторингових дослідженнях для прогнозування рівнів забруднення компонентів навколишнього середовища.

---

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ильин, В.Б. Элементарный химический состав растений / В.Б. Ильин ; ред. А.А. Титлянова. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.
2. Кроик, А.А. Оценка загрязнения подземных вод, почвогрунтов в зоне складирования промтоваров / А.А. Кроик // Научный вестник ДГАУ. – Днепропетровск; 2001. – №5. – С.130-131.
3. Pavlychenko, A. The investigation of rock dumps influence to the levels of heavy metals contamination of soil / A. Pavlychenko, A. Kovalenko // Mining of Mineral Deposits. Leiden, The Netherlands : CRC Press, Balkema, 2013. – pp. 237-238.
4. Прохорова, Н.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях в условиях техногенеза / Н.В. Прохорова, Н.М. Матвеев // Вестник СамГУ. – 1996. – №3. – С 125 – 148.
5. Авессаламов, И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов / И.А. Авессаламов. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 108 с.
6. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии: учеб. пособие / В.В. Добровольский. – М.: 1998. – 413 с.

#### REFERENCES

1. Ilin, V.B. and Tiglianova, A.A. (1985), *Elementarnyi khimicheskii sostav rasteniy* [The elementary chemical composition of plants], Nauka, Novosibirsk, Russia.
2. Kroik, A.A. (2001), "Evaluation of groundwater contamination, soil in the area of industrial waste storage", *Nauchnyi visnyk derzhavnoi hirnychoi akademii, Dnipropetrovsk*, no. 5, pp.130-131.
3. Pavlychenko, A. and Kovalenko, A., (2013), "The investigation of rock dumps influence to the levels of heavy metals contamination of soil", *Mining of Mineral Deposits. Leiden, The Netherlands : CRC Press, Balkema*, pp. 237-238.
4. Prokhorova, N.V. and Matveev, N.M., (1996), "Heavy metals in soils and plants in technogenesis", *Vesnik SamGU*, no. 3, pp. 125-148.
5. Avessalamov, I.A. (1987), *Geokhimicheskie pokazateli pri izuchenii landshaftov* [Geochemical indicators in the study of landscapes], MSU, Moscow, Russia.
6. Dobrovolskiy, V.V. (1998), *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of biogeochemistry], Moscow, Russia.

---

#### Об авторах

**Демура Вікторія Ігорівна**, молодший науковий співробітник, Науково-дослідний інститут геології Державного вищого навчального закладу «Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара» (НДІ Геології ДВНЗ «ДНУ»), Дніпропетровськ, Україна, [tori.dem@mail.ru](mailto:tori.dem@mail.ru)

**Готвянська Вікторія Олексіївна**, інженер I категорії, Науково-дослідний інститут геології Державного вищого навчального закладу «Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара» (НДІ Геології ДВНЗ «ДНУ»), Дніпропетровськ, Україна.

**Павличенко Артем Володимирович**, кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екології, Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет» (ДВНЗ «НГУ»), Дніпропетровськ, Україна, [kafedra\\_ecology@ukr.net](mailto:kafedra_ecology@ukr.net).

#### **About the authors**

**Demura Viktoriia Ihorivna**, Research Fellow, Scientific Research Institute of Geology, State Higher Educational Institution Dnipropetrovsk National University Oles Honchar (SRI of Geology SHEI "DNU"), Dnipropetrovsk, Ukraine, [tori.dem@mail.ru](mailto:tori.dem@mail.ru).

**Hotvianska Viktoriia Oleksiivna**, Engineer, Scientific Research Institute of Geology, State Higher Educational Institution Dnipropetrovsk National University Oles Honchar (SRI of Geology SHEI "DNU"), Dnipropetrovsk, Ukraine.

**Pavlychenko Artem Volodymyrovych**, Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Associate Professor of Ecology Department, State Higher Educational Institution "National Mining University" (SHEI "NMU"), Dnipropetrovsk, Ukraine, [kafedra\\_ecology@ukr.net](mailto:kafedra_ecology@ukr.net)

---

**Аннотация.** Отходы угледобывающей промышленности являются масштабными источниками негативного воздействия на объекты окружающей среды. Отходы угледобычи содержат значительное количество тяжелых металлов, которые представляют опасность для живых организмов. Поэтому исследования уровней загрязнения объектов окружающей среды на территориях размещения породных отвалов угольных шахт являются актуальными.

Проанализированы особенности влияния отходов угледобычи на уровень загрязнения почв и растений тяжелыми металлами. Обоснована схема отбора образцов объектов для изучения особенностей миграции тяжелых металлов из породных отвалов. Установлены особенности распределения тяжелых металлов в почвах на различных расстояниях от породного отвала шахтных пород. Исследовано распределение и накопление тяжелых металлов I и II класса опасности в почвах и дикорастущих травянистых растениях. Определены коэффициенты биологического накопления и особенности поглощения подвижных форм тяжелых металлов однолетними и многолетними растениями.

**Ключевые слова:** отходы угледобычи, тяжелые металлы, почвы, растения.

**Abstract.** Coal industry wastes are large-scale sources of negative impacts on the environment. Rock waste contains considerable amounts of heavy metals that are harmful for living organisms. Therefore, control of contamination rate of environmental objects in areas of spoil heaps is absolutely necessary today.

Peculiarities of the rock waste impact on soil and plant contamination with heavy metals were analyzed. A sampling scheme was created for studying heavy metal migration from spoil heaps. Peculiarities of heavy metal distribution in soils at various distances from the spoil heaps were explored. Distribution and accumulation of heavy metals of the I and II hazard class in soils and wild herbs were studied. Coefficients of biological accumulation and peculiarities of mobile forms of heavy metals absorbed by annual and perennial plants were determined.

**Keywords:** coal waste, heavy metals, soil, plants.

*Статья поступила в редакцию 16.09.2013  
Рекомендовано к публикации д.б.н., проф. А.И. Горовой*