

УДК 504.3.054

А. Л. Цикало, А. М. Космачова, В. М. Смирнов

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ РОСЛИНАМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН ДЛЯ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

*Здійснено експериментальне дослідження вмісту важких металів (ВМ) у деяких рослинах з метою визначення можливості використання цих рослин у складі санітарно-захисних зон екологічно напружених та потенційно небезпечних підприємств, а також особливо вразливих об'єктів. На основі отриманих експериментальних даних проаналізовані здібності рослин виду *Taraxacum officinale* Wigg. поглинати та акумулювати важкі метали з урбанізованого техногенно-забрудненого середовища на прикладі м. Миколаєва.*

Ключові слова: важкі метали, техногенне забруднення, екологічно напружені та особливо вразливі об'єкти, кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* Wigg.)

А. Л. Цыкало, А. М. Космачёва, В. М. Смирнов

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039, Украина

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ РАСТЕНИЯМИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СРЕДЫ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*Выполнено экспериментальное исследование содержания тяжёлых металлов в некоторых растениях с целью определения возможности использования этих растений в составе санитарно-защитных зон экологически напряжённых и потенциально опасных предприятий, а также особо уязвимых объектов. На основе полученных экспериментальных данных проанализированы способности растений вида *Taraxacum officinale* Wigg. поглощать и аккумулировать тяжёлые металлы из техногенно загрязнённой среды на примере г. Николаева.*

Ключевые слова: тяжёлые металлы, техногенное загрязнение, экологически напряжённые и особо уязвимые объекты, кульбаба лечебная (*Taraxacum officinale* Wigg.)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15673/0453-8307.6/2015.56743>

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

I. АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ

Одним із найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища на урбанізованих територіях є важкі метали (ВМ). Це пов'язано з діяльністю широкого кола виробництв – машинобудівельної, холодильної, харчової та інших галузей промисловості. Збільшення вмісту ВМ у навколишньому середовищі і накопичення їх в ґрунті завдають негативного впливу на здоров'я людей, а також на біоту в цілому, включаючи рослини, які є одним із найбільш чутливих її компонентів. Тому аналіз рослинності на вміст ВМ є одним із методів надійної оцінки рівня забруднення навколишнього середовища. З іншого боку, рослини, які спроможні поглинати, акумулювати та переробляти небезпечні речовини, зокрема, ВМ, можуть бути успішно використані з метою попередження забруднення ними довкілля, наприклад, у складі санітарно-захисних зон підприємств і об'єктів.

Відомо, що найбільш високий рівень техногенного навантаження на всі компоненти природного середовища характерний для великих міст та промислових центрів. Це пов'язано з великою концентрацією в них транспорту, різних

підприємств та виробництв на відносно невеликих за площею територіях. Велика кількість відходів виробництва потрапляє у навколишнє середовище та розсіюється на різні відстані від джерела забруднення впливаючи на життєдіяльність живих організмів.

Метою нашого дослідження є вивчення стану рослинності, що зростає в умовах техногенного забруднення ґрунту ВМ на прикладі міста Миколаїв та визначення вмісту ВМ в органах рослин.

II. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводили щодо рослин, що найбільш широко представлені в міській флорі міста. Для детального дослідження вмісту ВМ у навколишньому середовищі міста Миколаїв територію умовно поділили на 4 зони: сільбищу, промислову, транспортну та зелену. Відбір зразків рослинного матеріалу проводився посезонно протягом 2014 року. Місця відбору вибиралися з урахуванням наступних умов: територіальне зростання поблизу автотранспортних розв'язок, автомагістралей і промислових підприємств, що характеризуються найбільшим рівнем забруднення

довкілля. Серед місць відбору зразків рослинного матеріалу санітарно-захисні зони промислових підприємств машинобудівного профілю (виробництво двигунів різноманітного призначення, металообробка, суднобудування і судоремонт) (рис.1). За умовно чистої (фонову) зону вмісту ВМ у деревних породах було прийнято територію біля селища Котлярове, що знаходиться в 27 км від м. Миколаєва.

Для дослідження трав'яного покриву міста, відібрали представників сімейства кульбаби лікарської (*Taraxacum officinale* Wigg.), що зростає у всіх зонах міста. Пробовідбір проводили в період цвітіння домінуючого виду (кінець квітня, початок травня) у всіх зонах міста. Відбір рослинних проб проходить на тих же ділянках, де було відібрано ґрунтові проби. Точкові проби відбиралися на пробних майданчиках методом конверта з додержанням вимог щодо чистоти рослинного зразка.

Валовий вміст ВМ у пробах рослинного матеріалу визначали атомно-абсорбційним методом на приладі – спектрометрі ААС-115М1. Метод аналізу ґрунтується на зміні зменшення інтенсивності (або потужності) потоку електромагнітного випромінювання при проходженні через розчин. Прилад ААС-115М1 призначений для визначення концентрації хімічних елементів у рідких пробах в умовах хіміко-аналітичної лабораторії.

З однієї пробної ділянки отримували об'єднану пробу з 3-5 зразків. У середньому вага рослинного матеріалу складала 500-700 г. Відібрані зразки складали у паперові конверти з паспортизацією місця збору. Досліджуваний матеріал висушували у ботанічній лабораторії протягом 2 тижнів. Далі рослинні зразки покровоко підготовлювали для визначення в них вмісту ВМ. Досліджувані хімічні елементи – це Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Mn, Fe. Біопідготовка

рослинного матеріалу проводилася відповідно ГОСТ 26929-94. Коефіцієнт біологічного поглинання (КБП) розраховували як відношення вмісту елементу в рослині до його вмісту у ґрунті.

III. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Основний вплив забруднених ВМ ґрунтів пов'язаний з вторинним пиловим забрудненням приземних шарів атмосфери. У зв'язку з цим, головним екологічним фактором забруднення ґрунтів є валовий вміст в їх поверхневому шарі ВМ, який варіює.

Аналіз геохімічних показників дає уявлення про рівні та масштаби депонування ВМ в ґрунтовому покриві в межах міста.

Варіації вмісту цинкових забруднень в ґрунтовому покриві м. Миколаєва склали 2-5 ГДК. Максимальним коефіцієнтом небезпеки характеризуються ґрунти в промисловій та транспортній зонах Ленінського району. Свинцеві забруднення в максимальних концентраціях зафіксовані в промисловій зоні Заводського району з перевищенням до 11 ГДК. Гранічні значення хромових і нікелевих забруднень зафіксовані в промисловій зоні Ленінського району з перевищенням санітарно-гігієнічних нормативів в 2 і 4,8 разів відповідно. Мідні забруднення в ґрунтовому покриві виявлені в Заводському районі в промисловій зоні, де зосереджені підприємства машинобудівної галузі. Концентрації Мп в проаналізованих зразках знаходяться в межах санітарно-гігієнічних нормативів. За санітарно-гігієнічним критерієм (К₀) небезпека забруднення ґрунтів зменшується в ряді: Zn (3,8), Pb (3,1), Ni (1,4), Cu (1,2). Інтегральний показник небезпеки забруднення ґрунтів для елементів 1 і 2 класу небезпеки сягає 26,4 при середньому значенні 10,3 (табл. 2; 1) в широкому діапазоні (табл. 1).

Таблиця 1 – Діапазон забруднення ґрунтового покриву м. Миколаєва [6]

Показник	Вміст, мг·кг ⁻¹	K ₀	$\sum K_0(1+2)$	K _c	Z _c
Zn	<u>118-320</u> 211	<u>2,1-5,8</u> 3,8	26,4 10,3	<u>1,5-4,0</u> 2,6	2,3-20,7 7,8
Pb	<u>30,2-360</u> 100	<u>0,94-11,2</u> 3,1		<u>1,5-18,0</u> 5,0	
Cr	<u>21,1-190</u> 81	<u>0,2-1,9</u> 0,8		<u>0,4-3,2</u> 1,3	
Ni	<u>11-95</u> 28	<u>0,5-4,8</u> 1,4		<u>0,4-3,2</u> 0,9	
Cu	<u>13,4-90</u> 39	<u>0,4-2,7</u> 1,2		<u>0,5-3,6</u> 1,6	
Mn	<u>64,2-375</u> 230	<u>0,04-0,3</u> 0,14		<u>0,1-0,6</u> 0,3	
Fe	<u>3200-13390</u> 7490				

Примітки:

1. В чисельнику представлені граничні значення, в знаменнику – середнєарифметичне;
2. За показником $\sum K_0(1+2)$ – в знаменнику представлено максимальне значення, а в знаменнику – середнє арифметичне.

Таблиця 2 – Зональне розподілення концентрацій важких металів в міській агломерації, $мг \times кг^{-1}$

Елемент	Зона міста			
	Промислова	Транспортна	Селітебна	Зелена
Zn	$\frac{200-320}{250}$	$\frac{146-287}{215}$	$\frac{140-272}{206}$	$\frac{118-216}{171}$
Pb	$\frac{146-360}{210}$	$\frac{50,2-163}{100}$	$\frac{35,3-85,3}{55,6}$	$\frac{29,4-77,2}{40}$
Cr	$\frac{63,3-190}{102}$	$\frac{29,3-174}{86,8}$	$\frac{36,4-126}{72,4}$	$\frac{21,1-129}{63,3}$
Ni	$\frac{22,5-95,2}{38,5}$	$\frac{12,5-60}{27,8}$	$\frac{12,5-40}{24,8}$	$\frac{10,9-50,8}{20,5}$
Cu	$\frac{30,3-88,8}{54,5}$	$\frac{21,9-59,3}{38}$	$\frac{21,7-56,4}{33,7}$	$\frac{13,4-49}{31,5}$
Mn	$\frac{126-290}{196}$	$\frac{112-375}{225}$	$\frac{112-312}{205}$	$\frac{64,12-316}{193}$
Fe	$\frac{3860-11700}{7525}$	$\frac{4263-13390}{8026}$	$\frac{3200-11580}{7544}$	$\frac{3790-9820}{6700}$

Примітка: в чисельнику представлені граничні значення, в знаменнику – середнє арифметичне.

Таблиця 3 – Ранжування території Миколаївської міської агломерації за ступенем забруднення ґрунтів елементами класів небезпеки 1 (Zn, Pb) і 2 (Cu, Ni), % [15]

Категорія забруднення	Zn	Pb	Cu	Ni	Zc
Допустима	–	0,6	35,8	80,8	98,1
Помірно небезпечна	28,5	34,1	60,9	14,9	1,9
Небезпечна	65,5	23,9	3,3	4,3	–
Надзвичайно небезпечна	6,0	41,4	–	–	–

Сумарний показник забруднення варіює в межах 2,3-20,7 при середньому значенні 7,8, що дозволяє віднести міську територію до «допустимої» категорії забруднення (табл.1). Характер просторового розподілу забруднень свідчить про наявність ряду техногенних аномалій, локалізованих в районі розташування промислових об'єктів. Так підвищені значення

показника (16-32 = Zc) приурочені до розташування підприємств металообробної галузі (т. 42, 43). Менше 2% міських земель слід віднести до «помірно небезпечної» категорії забруднення. Ідентифікація сумарного показника забруднення в інтервалі значень (10-16 = Zc) свідчить про вплив промислових об'єктів на геоecологічне середовище (табл. 3).

Таблиця 4 – Вміст важких металів у кульбабі лікарській

Зона	Маса, г	Концентрація, мг/кг (сухої маси)					
		Zn	Ni	Fe	Mn	Pb	Cu
Контрольна	2,00	0,580	0,365	9,805	13,915	0,000	0,960
Сельбищна	2,0	3,873	0,238	23,979	19,159	1,042	1,555
Промислова	1,43	4,996	0,199	26,826	22,586	0,597	10,803
Транспортна	1,875	3,746	0,153	29,069	27,859	0,964	1,286
Зелена	1,655	3,442	0,103	19,247	16,043	0,097	1,09

В результаті флористичного аналізу було встановлено, що незалежно від зони дослідження та рівня техногенного забруднення загальне проектоване покриття рослинністю було високим (80-100%), але видова різноманітність рослинних угруповань відрізнялась. Ми обрали кульбабу лікарську для дослідження, враховуючи велику кількість факторів. По-перше, представники виду *Taraxacum officinale* Wigg. є багаторічним і дуже

розповсюдженим видом. Вони зростають в зріджених мішаних і листяних лісах, як бур'ян на лісокультурних площах, у розсадниках, парках і лісопарках, трапляється на пустирях, поблизу житлових будинків, доріг, по узліссях, нерідко утворюючи значні за площею зарості. По-друге, її використовують як лікарську, вітамінозну, харчову, медоносну, технічну і косметичну рослину.



Рисунок 1 – Зони відбору *Taraxacum officinale* Wigg. у місті Миколаєві

У промисловій та транспортній зоні *Taraxacum officinale* Wigg. ділянки досліджуваних проб досягали розміру 15×15 м ($n = 5$) оскільки густота зростання була незначною. Забір проб у сельбищній та зеленій зоні здійснювали з площ розміром 5×5 м ($n = 5$), оскільки їх чисельність зростання була більшою.

Результати дослідження (табл. 4) показали, що для рослин даного виду було характерним порівняльно високий вміст заліза та марганцю, що, можливо, пов'язано з виконуючою фізіологічною функцією даних металів.

Вміст ВМ в органах рослини залежить від рівня забруднення ґрунту. Відповідно, при зростанні їх накопичення в ньому, показники вмісту важких металів зростають. При цьому, найбільш суттєвим було підвищення показників вмісту цинку (в 5 разів) та міді (в 10 разів) у промисловій зоні. Однак необхідно відмітити, вміст нікелю в

рослинах на забруднених територіях виявився нижчим в 1-2 рази, ніж у контрольній точці (табл. 4).

Кількісною мірою, що характеризує здатність рослин акумулювати ВМ є коефіцієнт біологічного поглинання (КБП). Як бачимо з даної таблиці 5, в умовах забруднення ґрунту значення КБП у відношенні більшості вивчених металів виявились нижчим, ніж у рослин умовно чистої зони, що свідчить про зниження інтенсивності їх поглинання. Аналогічні висновки раніше були зроблені і іншими дослідниками [1], які вважають, що можливо це пов'язано як із зниженням доступності елементів для рослин в наслідок зміни кислотності ґрунтового розчину або взаємного (антагоністичного) впливу іонів, так і з активізацією в них механізмів, що підтримують стабільність мікроелементного складу організму в несприятливих едафічних умовах.

Таблиця 5 – Коефіцієнт біологічного поглинання (КБП) важких металів кульбабою лікарською

Зони	Zn	Ni	Fe	Mn	Pb	Cu
Сельбищна	0,019	0,01	0,003	0,093	0,019	0,046
Промислова	0,02	0,0052	0,0036	0,115	0,0028	0,198
Транспортна	0,017	0,0055	0,0036	0,124	0,00964	0,0338
Зелена	0,020	0,0050	0,0029	0,083	0,0024	0,035

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено, що трав'яна рослинність, яка сформувалась в умовах техногенного забруднення ґрунтів ВМ, помітно відрізняється за флористичним складом від рослин, які знаходяться на незабруднених зонах. Такі ж висновки були

наведені і в результатах досліджень Майкла Трешоу [6]. Крім того, нами встановлено, що кульбаба лікарська поглинає важкі метали як підземною частиною тіла з ґрунту, так і надземною з атмосферного повітря. При цьому встановлено, що в умовах техногенного

забруднення ґрунтів вміст більшості важких металів в рослинах зростає, але інтенсивність їх поглинання знижується, що, можливо, являється результатом адаптаційної реакції, направленої на стабілізацію мінерального обміну, у випадках, коли ґрунтове середовище виявиться несприятливим для життєдіяльності рослин.

ЛІТЕРАТУРА

1. Башмаков Д. И., Лукаткин А. С. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений. Саранск, 2009. – 236 с.
2. Безель В. С., Жуйкова Т. В. Химическое загрязнение среды: вынос химических элементов наземной фитомассой травянистой растительности // Экология, 2007. № 4. – С. 259-267.
3. Бойченко О. В., Лановенко О. Г. Екологічна оцінка забруднення м. Миколаєва промисловими викидами та його вплив на стан екосистем. Електронний ресурс: <http://zavantag.com/docs/2405/index-8072-11.html>.

4. Влияние техногенных факторов на ростовые показатели древесных растений городских систем / Е. А. Сидорович, А. П. Яковлев, Н. М. Арабей и др. Проблемы озеленения городов. – М.: Прима, 2004. – Вып. 10. – С. 165–168.
5. Ермаченко Л. А. Атомно-абсорбционный анализ в санитарно-гигиенических исследованиях. Изд-во «Чувашия», 1997. – 207 с.
6. Загрязнение воздуха и жизнь растений. Под ред. Майкла Трешоу. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – 535 с.
7. Сергейчик С. А. Древесные растения и оптимизация промышленной среды. – Минск, 1984. – 166 с.
8. Смирнова С. М. Природно-техногенні чинники формування поля забруднення урболандшафтів Миколаївської міської агломерації важкими металами. Автореф. дис. канд. геол. наук: спец. 21.06.01 «Екологічна безпека»; Інститут геохім. навкол. середовища. – Київ, 2012. – 19 с.

Отримана в редакції 05.10.2015, прийнята до друку 03.11.2015

A. L. Tsykalo, A. M. Kosmacheva, V. M. Smirnov

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaya Str., Odessa, 65039, Ukraine

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF METALS ACCUMULATION IN PLANTS AND PERSPECTIVES OF THESE PLANTS UTILIZATION FOR ENVIRONMENT POLLUTION ON URBANIZED TERRITORIES PREVENTION

The level of influence of technogenic pollution of soil and air with heavy metals on the condition of the grass cover urban agglomeration had been studied in this paper. On the example of the Nikolayev city the ability of Taraxacum officinale Wigg plants to absorb and accumulate heavy metals from technogenically polluted environment were analyzed.

Keywords: heavy metals, industrial pollution, soil contamination, dandelion.

REFERENCES

1. Bashmakov D. I., Lukatkin A. S. 2009. Ekologo-fiziologicheskie aspektyi akkumulyatsii i raspredeleniya tyazhelyih metallov u vysshih rasteniy. Saransk, 236 p.
2. Bezel V. S., Zhuykova T. V. 2007. Himicheskoe zagryaznenie sredy: vyinos himicheskikh elementov nadzemnoy fitomassoy travyanistoy rastitelnosti. *Ekologiya*, No 4, pp. 259-267.
3. Boychenko O. V., Lanovenko O. G. Ekologichna otsinka zabrudnennya m. MikolaEva promislovimi vikidami ta yogo vpliv na stan ekosistem. [Elektronicheskoye resurs]. Available at: <http://zavantag.com/docs/2405/index-8072-11.html>. Accessed 07.09.2015
4. Vliyanie tehnogennyih faktorov na rostovye pokazateli drevesnyih rasteniy gorodskih sistem / E. A. Sidorovich, A. P. Yakovlev, N. M. Arabey i dr.

Problemyi ozeleneniya gorodov. – M.: Prima, M, 2004. – Vyp. 10. – pp. 165-168.

5. Ermachenko L. A. Atomno-absorbtsionnyiy analiz v sanitarno-gigienicheskikh issledovaniyah. Izd-vo «Chuvashiya», 1997. 207 p.
6. Zagryaznenie vozduha i zhizn rasteniy. Pod red. Maykla Treshou. – L.: Gidrometeoizdat, 1988. – 535 p.
7. Sergeychik S. A. Drevesnyie rasteniya i optimizatsiya promyshlennoy sredy. – Minsk, 1984. – 166 p.
8. Smirnova S. M. Prirodno-tehnogenni chinniki formuvannya polya zabrudnennya urbolandshaftiv Mikolayivskoyi miskoyi aglomeratsiyi vazhkimi metalami. Avtoreferat. dis. kand. geol. nauk: spets. 21.06.01, 2012, 19 p.

Received 05 October 2015
Approved 03 November 2015
Available in Internet 25.12.2015