

ВИВЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ НАКОПИЧЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ РОСЛИНАМИ БУРКУНУ БІЛОГО (*MELILOTUS ALBUS*) НА ГРУНТАХ, ЩО ЗАЗНАЛИ ВПЛИВУ БОЙОВИХ ДІЙ

АЛЕКСЕЄВ О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0001-5807-4932

Вінницький національний аграрний університет

ВРАДІЙ О.І. – кандидат сільськогосподарських наук, старший викладач
orcid.org/0000-0001-7383-3829

Вінницький національний аграрний університет

Постановка проблеми. На сьогоднішній день виявлено, що в Україні постраждало близько третини сільськогосподарських угідь внаслідок проведення бойових дій. Під час вибухів та роботи військової техніки у ґрунти потрапляє велика кількість токсичних вибухових речовин і важких металів. Ґрунт зазнає хімічного забруднення [12].

Із 2022 року співробітники Інституту мікробіології і вірусології імені Д. К. Заболотного НАН України почали відбирати проби ґрунту з місць безпосереднього ведення бойових дій. Серед місць відбору – вирви від влучання ракет, бомб та мін, вогневі точки, горіння бойової техніки. Вміст важких металів у зразках ґрунту перевищує норму в 10–20 разів. Це ртуть, миш'як, свинець, залізо, мідь, хром [13].

В Інституті зазначають, що навколо вогневих точок не росте трава, а в ґрунті з-під згорілої військової техніки насіння пшениці взагалі не проростає.

Під час війни ґрунти зазнають також механічного та фізичного пошкодження – наприклад, ущільнення внаслідок роботи важкої техніки або зрушення через вибухи [11].

Фізичні і механічні пошкодження можна побачити неозброєним оком, щоб визначити хімічний вплив, необхідно робити аналіз, бо впливає і тепловий удар, і вибух, і розрив ґрунту. При цьому руйнується також біологічна складова ґрунту – практично «вигорає» і мікробіота, і гумус, і інші речовини, які відповідають за біологічну активність ґрунту [9].

Навіть ті території, над якими літали ракети, також зазнали шкоди. Залишки ракетного палива осідають на поля і потрапляють у ґрунт та рослини [10].

Відновлення таких ґрунтів, можливе при заорюванні вирв і їх обробці всієї ділянки мікроорганізмами, які розкладають токсичні речовини та висіванням рослин-фіторемедіантів для того, щоб витягти ці токсичні речовини. Наразі комплекс відновлення ґрунту від токсичного забруднення коштує приблизно 100–150 \$/га [1, 9].

До фіторемедіантів сільськогосподарських культур належать велика кількість рослин, а саме: соняшник (*Helianthus annuus*), гірчиця біла (*Sinapis alba*), буркун білий (*Melilotus albus*), канола (ріпак) (*Brassica napus*), кукурудза (*Zea mays*), сорго (*Sorghum bicolor*), люцерна (*Medicago sativa*), коноплі технічні (*Cannabis sativa*), топінамбур (*Helianthus tuberosus*), соя (*Glycine max*), льон (*Linum usitatissimum*) [2, 3].

В наших дослідженнях, спрямованих на відновлення ґрунтів, що зазнали впливу бойових дій, акцент

зроблено на буркун білий, як фіторемедіант [4, 14]. Буркун білий (*Melilotus albus*) – однорічна або дворічна рослина родини Бобові, яка проявляє високий потенціал як фіторемедіант, тобто рослина, здатна очищати забруднені ґрунти та середовище шляхом поглинання, стабілізації або трансформації шкідливих речовин [5].

Буркун здатен акумулювати в собі важкі метали, зокрема цинк (Zn), кадмій (Cd), свинець (Pb) та мідь (Cu). Він демонструє високу толерантність до токсичних концентрацій, не втрачаючи здатності до росту. Особливо ефективний у зоні промислового забруднення та на техногенних землях. Доведено здатність буркуну білого ефективно поглинати цезій-137 (¹³⁷Cs) – один з основних радіонуклідів, що забруднює території після аварії на ЧАЕС, а також може потрапляти в ґрунт із проведенням воєнних дій. Завдяки глибокій кореневій системі буркун може витягати радіоактивні елементи з глибших шарів ґрунту [6, 15].

Як бобова культура, він фіксує атмосферний азот у симбіозі з бактеріями, збагачуючи ґрунт. Сприяє відновленню родючості деградованих земель. Буркун має високу врожайність зеленої маси, що важливо для подальшого видалення забруднюючих речовин із біомасою [7].

Його можна використовувати як сидерат – рослину для зеленого добрива. Буркун білий – перспективна фіторемедіаційна культура, що поєднує очищення довкілля від токсичних речовин із покращенням ґрунтової якості. Його використання доцільне: у зоні техногенного та радіоактивного забруднення, на полях після забруднення важкими металами, на територіях, що зазнали впливу воєнних дій, на територіях, які потребують відновлення біологічної активності [16].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі відсутні опубліковані дослідження, які б безпосередньо вивчали використання буркуну білого (*Melilotus albus*) для фіторемедіації ґрунтів, що зазнали впливу бойових дій. Однак існують наукові роботи, які досліджують потенціал цієї рослини для очищення ґрунтів, забруднених важкими металами та іншими токсичними речовинами.

Антонін Кінтл та співавтори вивчали здатність буркуну білого накопичувати потенційно токсичні елементи (PTEs) у біомасі, що може бути використано для виробництва біометану. Дослідження показало, що буркун білий ефективно накопичує такі елементи, як цинк (Zn),

кадмій (Cd) та свинець (Pb), що свідчить про його потенціал у фіторе mediaції забруднених ґрунтів.

Тереза Стеліга та Дорота Крук оцінювали придатність буркуну лікарського (*Melilotus officinalis*), близького родича буркуну білого, для фіторе mediaції ґрунтів, забруднених нафтовими вуглеводнями та важкими металами (Zn, Pb, Cd). Результати показали, що ця рослина накопичує важкі метали переважно в кореневій системі, що вказує на її роль як фітостабілізатора.

Вчені-науковці різних установ України займаються питанням вирощування буркуну білого як фіторе mediaнта, такі, як: Інститут агроєкології і природокористування НААН України – займається дослідженнями в галузі агроєкології та має напрацювання щодо використання рослин-фіторе mediaнтів. Національний університет біоресурсів і природокористування України – проводить дослідження з агрономії та екології, включаючи вивчення бобових культур і їх ролі у відновленні ґрунтів. Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського – спеціалізується на питаннях родючості ґрунтів та проводить дослідження щодо фіторе mediaції.

Хоча ці дослідження не стосуються безпосередньо ґрунтів, що постраждали від бойових дій, результати свідчать про перспективність використання буркуну білого для відновлення та очищення забруднених територій. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на оцінку ефективності цієї рослини саме в контексті фіторе mediaції ґрунтів, пошкоджених внаслідок військових конфліктів.

Метою дослідження є вивчення інтенсивності накопичення важких металів у рослинах буркуну білого (*Melilotus albus*), вирощених на ґрунтах, які зазнали впливу бойових дій, зокрема внаслідок забруднення уламками боеприпасів, вибухових речовин, важкої техніки та збройного втручання. Особливу увагу приділено оцінці фіторе mediaційного потенціалу буркуну як культури для відновлення деградованих територій і очищення ґрунтів від токсичних елементів.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження по вивченню інтенсивності накопичення важких металів вегетативною масою буркуну білого проводилася на дерново-опідзолених піщаних ґрунтах в умовах міста Овруч Житомирської області (51°19'28" пн. ш. 28°48'29" сх. д.) та на сірих лісових ґрунтах в умовах міста Калинівка Вінницької області (49°26'50" пн. ш. 28°31'23" сх. д.), що постраждали внаслідок проведення бойових дій, а саме: детонації уламкових матеріалів крилатих ракет Х-101.

Буркун білий вирощували згідно загальноприйнятої технології, яка включала обробіток ґрунтів, висів насіння та догляд за посівами. Відбір ґрунтів для досліджень проводили методом конверту, який передбачає відбір зразків з кожного поля у п'яти різних місцях (по квадрату і по центру) на глибині переорювання ґрунту. Підбір зразків ґрунту із змішаної з п'яти точок партії відбирали методом точкових проб по 0,5 кг. Вегетативну масу буркуну білого відбирали по завершенню фази бутонізації шляхом його скошування. Площа скошування становила 1 м² у п'яти точках. Після цього з отриманих зразків

формували загальну партію з п'яти точок, проводячи в точкові відбори по 5 кг.

Вміст важких металів проводили у сертифікованій науково-вимірювальній лабораторії навчально-наукового інституту агротехнологій та природокористування Вінницького національного аграрного університету. Площі ділянок поля, на яких вирощувався буркун білий, склали 25 м² у трьохкратних повторностях. Біометричну обробку отриманих результатів досліджень проводили з урахуванням середнього арифметичного значення (M), середнього квадратичного відхилення (m) та достовірності різниці середніх значень (критерій P). Для позначення ймовірності в таблицях використовуються умовні позначення: P < 0,05*; P < 0,01**; P < 0,001***.

Спостереження, обліки та вимірювання проводили за загальноприйнятими методиками:

– проби ґрунту відбирали з шару 0–20 см відповідно до ДСТУ ISO 10381–1:2004;

– визначення вмісту рухомих форм важких металів (Pb, Cd, Zn, Cu) – після вилучення ацетатно-амонійним буферним розчином рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії відповідно до ДСТУ 4770.

Для оцінки ступеня небезпечності елемента-забруднювача використовували коефіцієнт безпеки елемента-забруднювача – співвідношення між концентрацією політанта в ґрунті та рослині та їх гранично допустимою концентрацією. Використовується для оцінки ступеня небезпечності елемента-забруднювача. За нормальних умов коефіцієнт безпеки має бути меншим або рівним 1. Визначається за формулою:

$$K_{нб} = \frac{C_i}{ГДК_i} \geq 1 \quad (1)$$

де C_i – концентрація і-тої забруднюючої речовини, мг/кг; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація і-тої забруднюючої речовини, мг/кг.

Для оцінки ступеня накопичення важких металів використовували коефіцієнт накопичення елемента-забруднювача – відношення концентрації забруднювача в рослинній продукції до його концентрації у ґрунті. Використовується для оцінки можливості переходу рухомих форм важких металів із ґрунту в гриби. Визначається за формулою:

$$K_n = \frac{C_{ip}}{C_{igp}} \quad (2)$$

де C_{ip} – концентрація і-тої забруднюючої речовини у рослині, мг/кг; C_{igp} – концентрація і-тої забруднюючої речовини у ґрунті, мг/кг.

Результати досліджень. Аналізуючи вміст важких металів у дерново-підзолистих ґрунтах, що зазнали впливу бойових дій, де вирощували буркун білий на території міста Овруч Житомирської області виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій важких металів по Pb, Cd, Zn та Cu. (табл. 1). Вміст Pb, Cd, Zn та Cu у ґрунтах перевищував ГДК в середньому по групі у 1,1, 1,4, 1,0 та 1,2 раз відповідно.

Найвищий вміст серед досліджуваних важких металів у ґрунті був по Zn в порівнянні із Pb, Cd та Cu він був вищим у 3,44, 23,81 та 6,22 раз відповідно.

Таблиця 1

Моніторинг вмісту важких металів у ґрунті, що зазнав впливу бойових дій на території міста Овруч Житомирської області, мг/кг (n=3, M ± m)

Важкі метали	Вміст важких металів				ГДК
	I	II	III	Середнє по групі	
Pb	6,7	7,1	6,9	6,9 ± 0,3**	6,0
Cd	0,9	1,1	1,2	1,0 ± 0,21*	0,7
Zn	23,5	24,1	23,9	23,8 ± 1,3***	23,0
Cu	3,7	3,8	4,1	3,8 ± 0,7*	3,0

Таблиця 2

Моніторинг вмісту важких металів у ґрунті, що зазнав впливу бойових дій на території міста Калинівка Вінницької області, мг/кг (n=3, M ± m)

Важкі метали	Вміст важких металів				ГДК
	I	II	III	Середнє по групі	
Pb	8,1	8,9	7,7	8,2 ± 0,8**	6,0
Cd	0,9	1,8	2,3	1,6 ± 0,5*	0,7
Zn	27,9	24,7	25,1	25,9 ± 2,9***	23,0
Cu	6,1	4,9	3,5	4,8 ± 0,4*	3,0

Таблиця 3

Моніторинг вмісту важких металів у рослинній масі буркуну білого (*Melilotus albus*), вирощеного на території, що зазнала впливу бойових дій міста Овруч Житомирської області, мг/кг (n=3, M ± m)

Важкі метали	Вміст важких металів				ГДК
	I	II	III	Середнє по групі	
Pb	0,6	0,3	0,4	0,4 ± 0,1*	0,5
Cd	0,04	0,08	0,02	0,04 ± 0,7**	0,1
Zn	32,1	37,5	41,4	36,9 ± 1,2***	30,0
Cu	2,7	1,4	3,5	2,5 ± 1,4**	100,0

Таблиця 4

Моніторинг вмісту важких металів у рослинній масі буркуну білого (*Melilotus albus*), вирощеного на території, що зазнала впливу бойових дій міста Калинівка Вінницької області, мг/кг (n=3, M ± m)

Важкі метали	Вміст важких металів				ГДК
	I	II	III	Середнє по групі	
Pb	0,1	0,4	0,4	0,3 ± 0,8*	0,5
Cd	0,02	0,06	0,01	0,03 ± 1,7**	0,1
Zn	38,7	41,6	38,9	39,7 ± 0,2***	30,0
Cu	2,7	1,5	4,6	2,9 ± 1,4*	100,0

Аналіз вмісту важких металів у сірих лісових ґрунтах, що зазнали впливу бойових дій, де вирощували буркун білий на території міста Калинівка Вінницької області показав перевищення гранично допустимих концентрацій важких металів по Pb, Cd, Zn та Cu. (табл. 2). Вміст Pb, Cd, Zn та Cu у ґрунтах перевищував ГДК в середньому по групі у 1,3, 2,2, 1,1 та 1,6 раз відповідно.

Найвищий вміст серед досліджуваних важких металів у ґрунті був по Zn в порівнянні із Pb, Cd та Cu він був вищим у 3,1, 16,1 та 5,3 раз відповідно.

Результати досліджень (табл. 3) показують вміст важких металів у рослинній масі буркуну білого, який зростав в межах міста Овруч Житомирської області на забруднених внаслідок бойових дій дерново-підзолистих ґрунтах важкими металами.

Буркун білий у найбільшій концентрації найчастіше здатний поглинати Zn, що і доведено нашими дослідженнями, де присутнє перевищення ГДК по Zn. Концентрація Zn у рослинній масі буркуну білого була вища ГДК у 1,2 раз відповідно. А концентрація Pb, Cd та Cu не перевищувала ГДК і була нижчою за ГДК у 1,2, 2,5 та 40,0 раз відповідно. Концентрація Zn була вищою, порівняно із концентрацією Pb, Cd та Cu у 92,2, 922,5 та 14,7 раз відповідно.

Дані, що відображені у табл. 4 показують результати досліджень, що свідчать про вміст важких металів у рослинній масі буркуну білого, який зростав в межах міста Калинівка Вінницької області на забруднених внаслідок бойових дій сірих лісових ґрунтах важкими металами.

Нашими дослідженнями виявлено перевищення ГДК по Zn у рослинній масі буркуну білого. Концентрація Zn була вища ГДК у 1,3 раз відповідно. А концентрація Pb, Cd та Cu не перевищувала ГДК і була нижчою за ГДК у 1,6, 3,3 та 34,4 раз відповідно. Концентрація Zn була вищою, порівняно із концентрацією Pb, Cd та Cu у 132,3, 1323,3 та 13,6 раз відповідно.

Результати досліджень коефіцієнту небезпеки важких металів у дерново-підзолистих ґрунтах міста Овруч (рис. 1) показали найвищий його показник по Cd – 1,42, у порівнянні із Pb, Cd та Cu він був вищим у 1,23, 1,37 та 1,12 раз відповідно.

У сірих лісових ґрунтах показник коефіцієнту небезпеки був найвищим також по Cd – 2,28, що є вищим за показники коефіцієнту небезпеки по Pb, Zn та Cu у 1,67, 2,03 та 1,42 раз відповідно. Якщо порівнювати показники коефіцієнту небезпеки важких металів між містами, то у ґрунтах міста Калинівка показники коефіцієнта небезпеки були вищими по Pb, Cd, Zn та Cu за показники коефіцієнта небезпеки у ґрунтах міста Овруч у 1,18, 1,61, 1,08 та 1,26 раз відповідно.

Також нашими дослідженнями для оцінки ступеня небезпеки вирощування рослинної сировини на землях, що постраждали внаслідок бойових дій (рис. 2), розраховано коефіцієнт небезпеки важких металів у рослинній масі буркуну білого. У рослин буркуну білого найвищий показник коефіцієнту небезпеки, вирощених в умовах міста Овруч був по Zn, він був вищим показника коефіцієнта небезпеки Pb, Cd та Cu у 1,53, 3,07 та 49,2 раз відповідно.

Показника коефіцієнта небезпеки у рослинній масі буркуну білого, вирощеного в межах міста Калинівка був найвищим також по Zn, в порівнянні із Pb, Cd та Cu 2,16, 4,33 та 44,82 раз відповідно. Порівнюючи показники коефіцієнта небезпеки важких металів у рослинній масі буркуну білого, вирощеного в різних містах, на різних

типах ґрунтів, але тих, що піддавались впливу бойових дій, то показники коефіцієнту небезпеки Pb, Cd, та Zn були вищими у зразках, відібраних у місті Овруч у 1,33, 1,33 та 0,94 раз відповідно, а показник коефіцієнта небезпеки Cu був вищим у рослинній сировині буркуну білого, вирощеного у місті Калинівка у 1,16 раз відповідно.

Також для аналізу переходу важких металів досліджуваних територій, нами було розраховано показник коефіцієнту накопичування. З рис. 3 видно, що коефіцієнт накопичення у рослинній масі буркуну білому, що зростав на дерново-підзолистих ґрунтах в межах міста Овруч був найвищим по Zn і складав 1,5, він був вищим в порівнянні із коефіцієнтом накопичення Pb, Cd та Cu у 30,0, 50,0 та 2,5 рази відповідно.

Коефіцієнт накопичення важких металів у рослинній масі буркуну білого, що зростав на сірих лісових ґрунтах в межах міста Калинівка також був най вищим по Zn, в порівнянні із Pb, Cd та Cu у 50, 150 та 2,5 раз відповідно. Порівнюючи показники коефіцієнта накопичення між рослинною масою буркуну білого, що зростав на території міст Овруч та Калинівка, видно, що по Zn та Cu вони були однакові і становили 1,5 та 0,6 відповідно. А по Pb і Cd вони відрізнялись, по Pb та Cd коефіцієнт накопичення був більшим у 1,6 та 3,0 раз відповідно.

Висновки. Результати дослідження підтверджують високу ефективність буркуну білого у процесах фіторе mediaції ґрунтів, забруднених унаслідок бойових дій. Рослина виявила здатність накопичувати важкі метали: Pb, Cd та Cu і в меншій мірі – Zn, який буркун білий може накопичувати у більших концентраціях, що показано у наших дослідженнях, толерувати високі концентрації забруднювачів. Для вилучення перевищених концентрацій Zn, на цих землях можна висаджувати інші культури фіторе mediaнти, які здатні накопичувати в меншій мірі важкий метал – Zn.

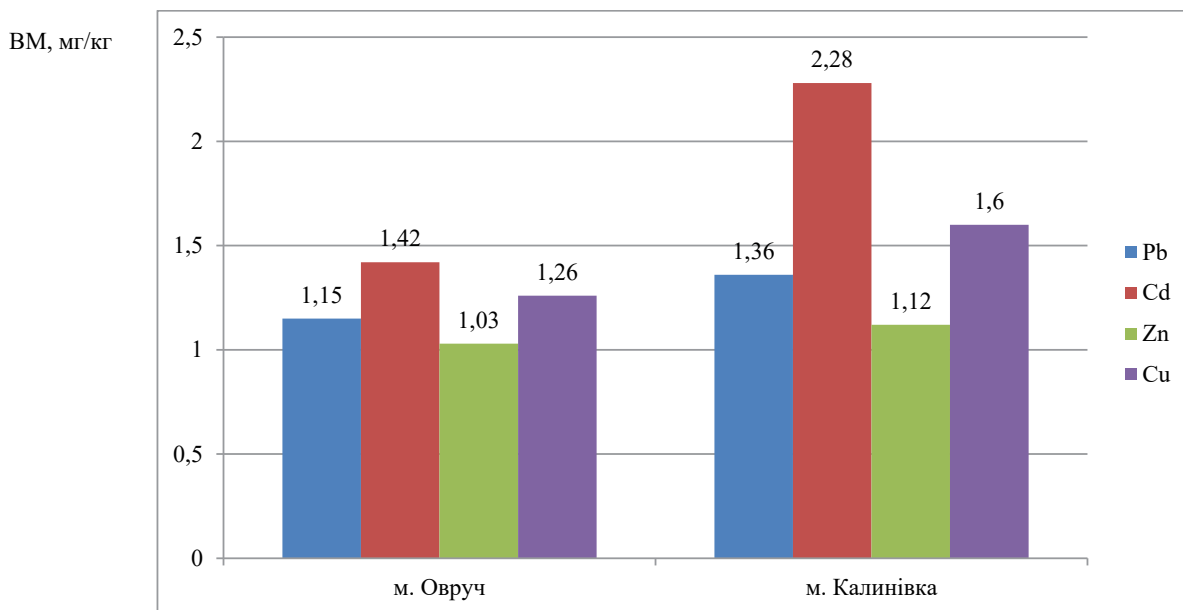


Рис. 1. Коефіцієнт небезпеки важких металів у дерново-підзолистих та сірих лісових ґрунтах

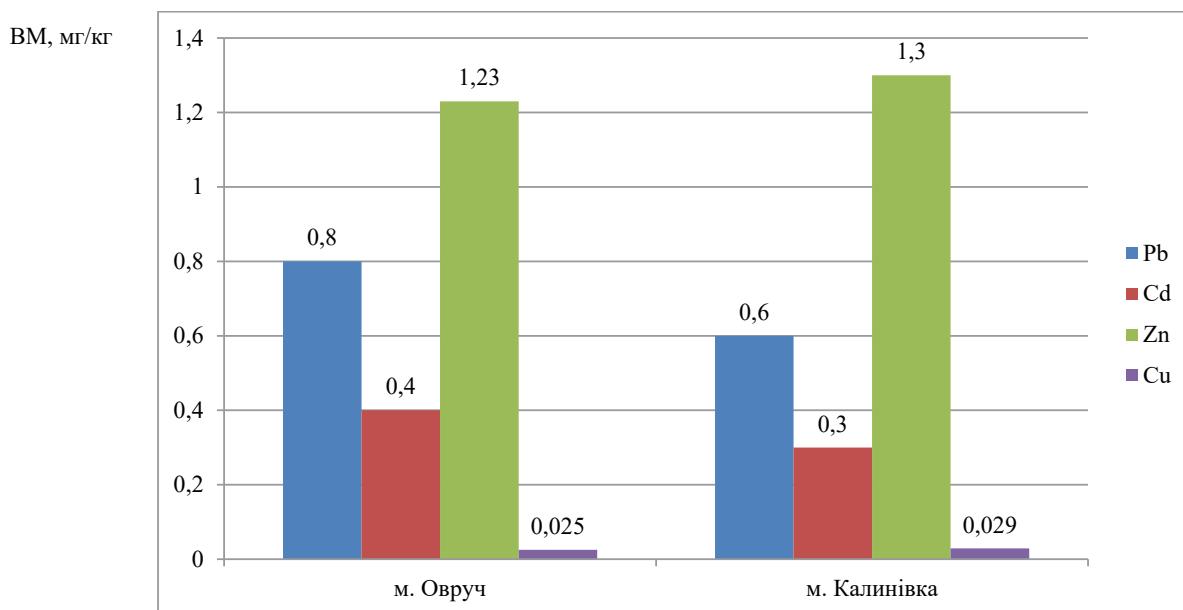


Рис. 2. Коефіцієнт небезпеки важких металів у рослинній масі буркуну білого (*Melilotus albus*)

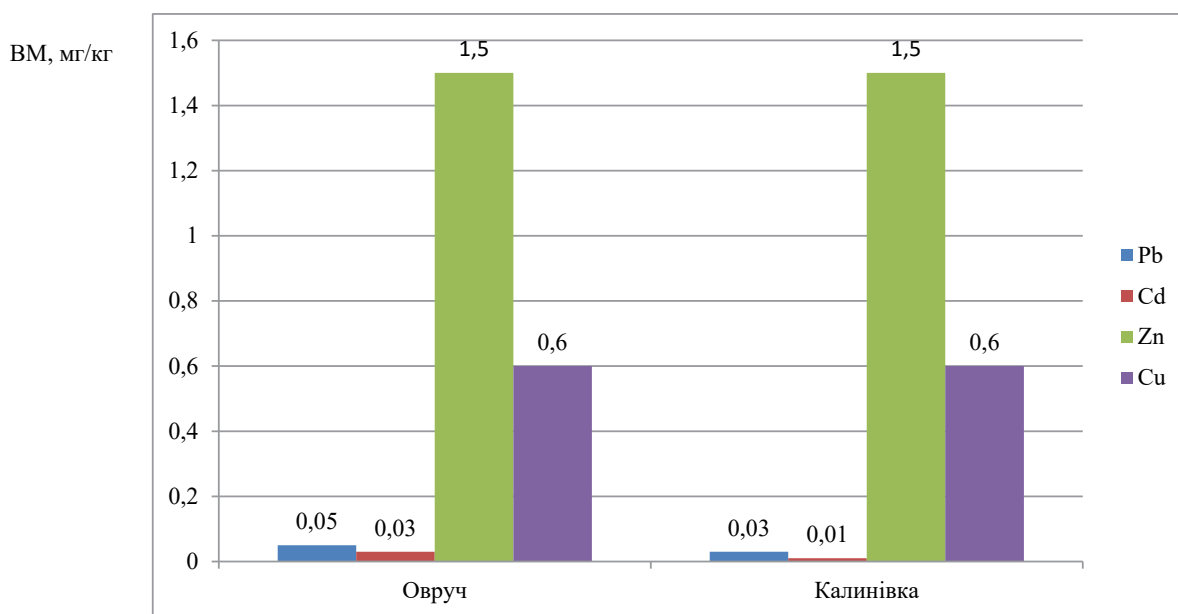


Рис. 3. Коефіцієнт накопичення важких металів у рослинній масі буркуну білого (*Melilotus albus*)

Перспективою подальших наших досліджень є вивчення системи **відновлення біологічної активності ґрунту** при вирощуванні буркуну білого на ґрунтах, що зазнали впливу бойових дій, завдяки азотфіксуючому симбіозу рослин та мікроорганізмів. Буркун білий також показує високу врожайність біомаси, що дозволить ефективно вилучати токсичні речовини з територій, які потребують екологічної реабілітації – також перспектива подальших наших досліджень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Merkl N., Schultze-Kroft R., Infant C. Assessment of Tropical Grasses and Legumes for Phytoremediation

of Petroleum- Contaminated Soils. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2005. Vol. 165, Issue 1–4. P. 195–209.

2. Грицаєнко З.М., Грицаєнко А.О., Карпенко В.П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: ЗАТ Нічлава, 2003. 320 с.
3. Frick C. M., Farrell R. E., Germida J. J. Assessment of phytoremediation as an in situ technique for cleaning oil-contaminated sites. PTAC Petroleum Technology Alliance, Canada, Calgary, 1999. 88 p.
4. Цицюра Я.Г., Шкатула Ю.М., Забарна Т.А., Пелех Л.В. Інноваційні підходи до фітореMediaції та фіторекультивативації у сучасних системах землеробства: монографія. Вінниця: ТОВ «Друк», 2022. 1200 с.

5. Демидась Г.І., Захлебаєв М.В. Продуктивність буркуну білого в чистих та сумісних посівах з однорічними злаковими культурами. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2017. Вип. 90(1). С. 47–54.
6. Косу́ба Р.Б., Ткачук О.Ю. Стан і перспективи використання буркуну лікарського в медицині та фармації. *Фітотерапія*. 2009. № 2. С. 53–56.
7. Лавриненко Ю.О., Влашчук А.М., Влашчук О.А. Особливості водоспоживання буркуну білого однорічного в умовах Півдня України. *Таврійський науковий вісник*. 2019. Вип.110. Ч.1. С. 113–119.
8. Влашчук А.М. Оптимізація параметрів адаптивної технології вирощування буркуну білого однорічного. *Актуальні проблеми землеробської галузі та шляхи їх вирішення: матер. Всеукр. наук.-практ. конф.* (Миколаїв. 04-06 грудня 2019 р.). Миколаїв: МНАУ. 2019. С. 20–22.
9. Razanov S., Aliksieiev O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Puyu V., Piddubna A., Povochnikov M., Postoienko D., Zelisko O. The content of heavy metals and trace elements in different soils used under the conditions of homestead plots and field agricultural lands of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2024. Vol. 25 (6). P. 42–50. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/186820>
10. Мазур В.А., Врадій О.І. Моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами науково-дослідної ділянки в НДГ «Агрономічне» Вінницького національного аграрного університету. *Сільське господарство та лісівництво*. 2019. № 2 (13). С. 16–24. DOI: 10.37128/2707-5826-2019-2-2
11. Ткачук О.П., Врадій О.І. Баланс поживних речовин у ґрунті при вирощуванні зернобобових культур. *Екологічні науки*. 2022. № 2 (41). С. 43–47. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.7>
12. Razanov S.F., Husak O.B., Tkachuk Y.I., Vradii O.I., Aliksieiev O.O., Verhelis V.I., Razanova A.M. Influence of soil moisture level on the translocation of plumbum and cadmium in the grains of winter cereals. *Agrology*. 2022. Vol. 5(4). P. 122–125. DOI: 10.32819/021119
13. Vradii O.I., Aliksieiev O.O. Ecological and economic assessment of the state of forest ecosystems in the conditions of marital state in Ukraine. *Аграрні інновації*. 2024. № 27. С. 29–36. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.4>
14. Alves J.D.C., Souza A.P.D., Pôrto M.L.A., Fontes R.L.F., Arruda J., Marques L.F. Potential of sunflower, castor bean, common buckwheat and vetiver as lead phytoaccumulators. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 2016. Vol. 20. No 3. P. 243–249. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p243-249>
15. Amjad M., Iqbal M.M., Abbas G., Farooq A.B.U., Naeem M.A., Imran M., Murtaza B., Nadeem M., Jacobsen S.-E. Assessment of cadmium and lead tolerance potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and its implications for phytoremediation and human health. *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. Vol. 44. No 5. P. 1487–1500. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00826-0>
16. Baudhdh K., Singh K., Singh B., Singh R. P. Ricinus communis: A robust plant for bio-energy and phytoremediation of toxic metals from contaminated soil. *Ecological Engineering*. 2015. Vol. 84. P. 640–652. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.038>

REFERENCES:

1. Merkl N., Schultze-Kroft R., Infant C. (2005). Assessment of Tropical Grasses and Legumes for Phytoremediation of Petroleum-Contaminated Soils. *Water, Air, and Soil Pollution*, 165, 1-4, 195–209.
2. Hrytsaienko Z.M., Hrytsaienko A.O., Karpenko V.P. (2003). Metody biolohichnykh ta ahrokhimichnykh doslidzhen roslyn i gruntiv [Methods of biological and agrochemical research of plants and soils]. K.: ZAT Nichlava, 320 [in Ukrainian].
3. Frick C.M., Farrell R.E, Germida J.J. (1999). Assessment of phytoremediation as an in situ technique for cleaning oil-contaminated sites. PTAC Petroleum Technology Alliance, Canada, Calgary, 88.
4. Tsytsiura Ya.H., Shkatula Yu.M., Zabarna T.A., Pelekh L.V. (2022). Innovatsiini pidkhody do fitoremediatsii ta fitorekultyvatsii u suchasnykh systemakh zemlerobstva [Innovative approaches to phytoremediation and phytorecultivation in modern agricultural systems]: monohrafiia. Vinnytsia: TOV «Druk», 1200 [in Ukrainian].
5. Demydas H.I., Zakhliebaiev M.V. (2017). Produktivnist burkunu biloho v chystykh ta sumisnykh posivakh z odnorichnyimi zlakovymi kulturamy [Productivity of white clover in pure and mixed crops with annual cereal crops]. *Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*, 90(1), 47–54 [in Ukrainian].
6. Kosuba R.B., Tkachuk O.Iu. (2009). Stan i perspektyvy vykorystannia burkunu likarskoho v medytsyni ta farmatsii [Status and prospects for the use of medicinal marigold in medicine and pharmacy]. *Fitoterapiia*, 2, 53–56 [in Ukrainian].
7. Lavrynenko Yu.O., Vlashchuk A.M., Vlashchuk O.A. (2019). Osoblyvosti vodospozhyvannia burkunu biloho odnorichnoho v umovakh Pivdnia Ukrainy [Peculiarities of water consumption of annual white sedge in the conditions of Southern Ukraine]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 110, 1, 113–119 [in Ukrainian].
8. Vlashchuk A.M. (2019). Optymizatsiia parametriv adaptivnoi tekhnolohii vyroshchuvannia burkunu biloho odnorichnoho [Optimization of parameters of adaptive technology for growing annual white yam]. *Aktualni problemy zemlerobskoi haluzi ta shliakhy yikh vyryshennia: mater. Vseukr. nauk.-prakt. konf.* (Mykolaiv. 04-06 hrudnia 2019 r.). Mykolaiv: MNAU, 20–22.
9. Razanov S., Aliksieiev O., Aliksieieva O., Vradii O., Mazur K., Puyu V., Piddubna A., Povochnikov M., Postoienko D., Zelisko O. (2024). The scontent of heavy metals and trace elements in different soils used under the conditions of homestead plots and field agricultural lands of Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 25 (6), 42–50. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/186820>
10. Mazur V.A., Vradii O.I. (2019). Monitorynh zabrudnennia hruntiv vazhkymy metalamy naukovodoslidnoi dilianky v NDH «Ahronomichne» Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu [Monitoring of soil contamination by heavy metals at the research site at the Agronomicheskyy Research Institute of Vinnytsia National Agrarian University]. *Silske*

- hospodarstvo ta lisivnytstvo*, 2 (13), 16–24. DOI: 10.37128/2707-5826-2019-2-2
11. Tkachuk O.P., Vradii O.I. (2022). Balans pozhyvnykh rechovyh u gruntі pry vyroshchuvanni zernobobovykh kultur [Soil nutrient balance when growing legumes]. *Ekologichni nauky*, 2 (41), 43–47. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2022.eco.2-41.7>
 12. Razanov S.F., Husak O.B., Tkalich Y.I., Vradii O.I., Alekseiiev O.O., Verhelis V.I., Razanova A.M. (2022). Influence of soil moisture level on the translocation of plumbum and cadmium in the grains of winter cereals. *Agrology*, 5(4), 122–125. DOI: 10.32819/021119
 13. Vradii O.I., Alekseiiev O.O. (2024). Ecological and economic assessment of the state of forest ecosystems in the conditions of marital state in Ukraine. *Ahrarni innovatsii*, 27, 29–36. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.27.4>
 14. Alves J.D.C., Souza A.P.D., Pôrto M.L.A., Fontes R.L.F., Arruda J., Marques L.F. (2016). Potential of sunflower, castor bean, common buckwheat and vetiver as lead phytoaccumulators. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20, 3, 243–249. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n3p243-249>
 15. Amjad M., Iqbal M.M., Abbas G., Farooq A.B.U., Naeem M.A., Imran M., Murtaza B., Nadeem M., Jacobsen S.-E. (2022). Assessment of cadmium and lead tolerance potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) and its implications for phytoremediation and human health. *Environmental Geochemistry and Health*, 44, 5, 1487–1500. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-00826-0>
 16. Baudh K., Singh K., Singh B., Singh R.P. (2015). Ricinus communis: A robust plant for bio-energy and phytoremediation of toxic metals from contaminated soil. *Ecological Engineering*, 84, 640–652. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.038>

Алексєєв О.О., Врадїй О.І. Вивчення інтенсивності накопичення важких металів рослинами буркуну білого (*Melilotus albus*) на ґрунтах, що зазнали впливу бойових дій

Метою дослідження є вивчення інтенсивності накопичення важких металів у рослинах буркуну білого (*Melilotus albus*), вирощених на ґрунтах, які зазнали впливу бойових дій, зокрема внаслідок забруднення уламками боеприпасів, вибухових речовин, важкої техніки та збройного втручання. Особливу увагу приділено оцінці фітореMediaційного потенціалу буркуну як культури для відновлення деградованих територій і очищення ґрунтів від токсичних елементів.

Методи. Методологічною основою даного дослідження є: емпіричні (польові експерименти та спостереження; вимірювання показників об'єкту дослідження; теоретичні (висунення гіпотези та формування висновків за результатами досліджень; статистичний; математичний.

Результати. Вивчено інтенсивність забруднення важкими металами різних типів ґрунтів, що зазнали наслідків бойових дій та вирощування на них рослин-фітореMediaнтів буркуну білого (*Melilotus albus*). Встановлено перевищення гранично допустимих концентрацій Pb, Cd, Zn та Cu у дерново-підзолистих ґрунтах міста Овруч Житомирської області та сірих лісових ґрунтах міста Калинівка, які безпосередньо піддавались впливу бойових дій, у вигляді детонації уламкових

матеріалів крилатих ракет Х-101. Дослідження показали ефективність вирощування на таких ґрунтах буркуну білого (*Melilotus albus*), як потужного фітореMediaнта. У рослинній масі буркуну білого виявлено перевищення гранично допустимої концентрації важких металів тільки по Zn, що вказує на позитивний ефект вирощування даної сільськогосподарської культури на землях, що зазнали впливу бойових дій.

Висновки. Результати дослідження підтверджують високу ефективність буркуну білого у процесах фітореMediaції ґрунтів, забруднених унаслідок бойових дій. Рослина виявила здатність накопичувати важкі метали: Pb, Cd та Cu і в меншій мірі – Zn, який буркун білий може накопичувати у більших концентраціях, що показано у наших дослідженнях, толерувати високі концентрації забруднювачів. Для вилучення перевищених концентрацій Zn, на цих землях можна висаджувати інші культури фітореMediaнти, які здатні накопичувати в меншій мірі важкий метал – Zn.

Ключові слова: буркун білий, Pb, Cd, Zn, Cu, рослинна маса, концентрація.

Alekseiiev O.O., Vradii O.I. Study of the intensity of accumulation of heavy metals by *Melilotus albus* plants on soils affected by hostilities

The aim of the study is to learn the intensity of accumulation of heavy metals in *Melilotus albus* plants grown on soils affected by hostilities, in particular as a result of contamination by fragments of ammunition, explosives, heavy equipment and armed intervention. Special attention is paid to the assessment of the phytoremediation potential of *Melilotus albus* as a crop for the restoration of degraded areas and the purification of soils from toxic elements.

Methods. The methodological basis of this study is: empirical (field experiments and observations; measurement of indicators of the object of study; theoretical (hypothesis formulation and formation of conclusions based on research results; statistical; mathematical.

Results. The intensity of heavy metal contamination of different types of soils that have suffered the consequences of hostilities and the cultivation of phytoremediant plants of *Melilotus albus* on them was studied. Exceedance of the maximum permissible concentrations of Pb, Cd, Zn and Cu was established in sod-podzolic soils of the city of Ovruch, Zhytomyr region and gray forest soils of the city of Kalynivka, which were directly exposed to the effects of hostilities, in the form of detonation of debris materials of cruise missiles X-101. Studies have shown the effectiveness of growing *Melilotus albus* on such soils as a powerful phytoremediant. In the plant mass of *Melilotus albus*, the maximum permissible concentration of heavy metals was found to be exceeded only for Zn, which indicates the positive effect of growing this crop on lands affected by hostilities.

Conclusions. The results of the study confirm the high efficiency of *Melilotus albus* in the processes of phytoremediation of soils contaminated as a result of hostilities. The plant has shown the ability to accumulate heavy metals: Pb, Cd and Cu and to a lesser extent – Zn, which *Melilotus albus* can accumulate in higher concentrations, which is shown in our studies, to tolerate high concentrations of pollutants. To remove excess concentrations of Zn, other phytoremediant crops can be planted on these lands, which are able to accumulate the heavy metal – Zn to a lesser extent.

Key words: *Melilotus albus*, Pb, Cd, Zn, Cu, plant mass, concentration.