

«Повторення – через перетворення знання, через його укрупнення» [1, с. 201].

#### Список літератури

1. Эрдниев, П.М. Укрупнение дидактических единиц в обучении математике [Текст]: кн. для учителя / П.М. Эрдниев, Б.П. Эрдниев. – М.: Просвещение, 1986. – 256 с.
2. Скороход Г.І. Укрупнення дидактичних одиниць у завданнях з курсу лінійного програмування (постановка задачі та графічне розв'язування) [Текст] / Матеріали V-й Міжнарод. конф. «Стратегія якості в промисленості і освіті», Варна, 6-13 червня 2009 г. Т. 2, с. 648 –650.
3. Скороход Г.І. Укрупнення дидактичних одиниць у завданнях з курсу лінійного програмування (симплекс-метод та транспортна задача) [Текст] / Матеріали V-й Міжнарод. конф. «Стратегія якості в промисленості і освіті», Варна, 6-13 червня 2009 г. Т. 2, с. 650 – 653.
4. Скороход, Г. І. Методика викладання фахових дисциплін у вищій школі. [Текст]: навч. посіб. для магістрів за спеціальністю «Прикладна математика» / Г. І. Скороход, В. Д. Ламзюк. – Д.: РВВ ДНУ, 2009. – 64 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.О.  
Надійшла до редакції 29.05.2013*

УДК 632.122.1:504.54.062.4

© Г.Г. Шматков, Т.Ф. Яковишина

### **ФІТОЕКСТРАКЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ҐРУНТУ**

Розроблена нова технологія фітоекстракції важких металів з ґрунту. Винос важких металів фітоекстрактором петрушкою кучерявою запропоновано підсилувати за рахунок внесення ефектору фітоекстракції ЕДТА в поєднанні з регулятором росту рослин «Корневін».

Разработана новая технология фитоэкстракции тяжелых металлов из почвы. Вынос тяжелых металлов фитоэкстрактором петрушкой кудрявой предложено повысить за счет внесения эффектора фитоэкстракции ЭДТА в сочетании с регулятором роста растений препаратом «Корневин».

New technology has been developed for the phytoextraction of the heavy metals from the soil. Carrying out of the heavy metals by the curly parsley phytoextractor has been proposed to increase for application of the effector phytoextraction EDTA in combination with plant growth regulator «Kornevin».

**Вступ.** Забруднення ґрунтів важкими металами є однією з головних причин деградації їх родючості що, як наслідок, відбивається на вирощеній продукції рослинництва, яка не відповідає санітарно-гігієнічним нормам та являє значну небезпеку для здоров'я людини. Тільки в Дніпропетровській області екологічним моніторингом виявлено близько 30 % орних земель забруднених важкими металами при ступені розорюваності 75 % від загальної площі області. Ареали радіусом до 50 км, в яких вміст важких металів перевищує ГДК в 5-10 разів, утворилися навколо промислових агломерацій Придніпров'я та Донбасу.

**Постановка задачі.** Сучасний стан агровиробництва в індустріально розвинених регіонах України зі значним техногенним навантаженням на компоненти біосфери формує запит на пошук невитратних, але в той же час екологічно безпечних та ефективних технологій відновлення ґрунту забрудненого важкими металами. До останніх відноситься фітоекстракція, яка полягає у вирощуванні на протязі деякого часу на забруднених ділянках спеціально підібраних видів рослин – гіперакумуляторів важких металів, здатних виносити та накопичувати ці токсиканти у великих кількостях в своїй біомасі з подальшою її утилізацією [1].

Для фітоекстракції використовують спеціально підібрані види рослин-гіперакумуляторів, таких як ярутка синьовата (*Thlaspi caerulescens*), бурачок стінний (*Alyssum murale*), резуха Галлера (*Cardaminopsis halleri*) та ін. [2]. Рослина-фітоекстрактор важких металів повинна відповідати наступним вимогам:

- витримувати рівень забруднення без явно виражених проявів фітотоксичних ефектів (знебарвлення, пігментація, некрози, затримка росту й розвитку);
- відзначатися високою швидкістю росту, формувати значну надземну біомасу, мати глибоко розрощу кореневу систему, не вимагати особливої агротехніки, бути стійкою до хвороб і шкідників, не привабливою для тварин і людини для запобігання отруєння [3].

Додатково при виборі рослин-фітоекстракторів звертають увагу на такі властивості, як: здатність корневих ексудатів розчиняти сполуки важких металів; уміння закріплювати метал в корені та транспортувати його в надземну біомасу; перешкоджати вилугованню токсиканта з верхнього шару ґрунту в підземні води [4].

Коефіцієнт накопичення металів в рослинах збільшують завдяки внесенню в ґрунт ефекторів фітоекстракції, приміром комплексонів з числа поліамінополіоцтових кислот [5].

Слід зазначити, що формування значного приросту біомаси сприятиме більш інтенсивному поглинанню елементів з ґрунту, отже виникла ідея перевірити, як будуть впливати регулятори росту на процес виносу й накопичення цих токсикантів в біомасі рослин в комплексі з ефектором фітоекстракції в техногенно забрудненому агроценозі рослини-гіперакумулятора.

Тому мета роботи полягала в розробці принципово нового екологічно обґрунтованого методу фітоекстракції важких металів з техногенно забруднених чорноземів звичайних малогумусних важкосуглинкових Північного Степу України на основі отриманих експериментальних даних щодо поєднання вирощування рослини-гіперакумулятора із застосуванням ефектору фітоекстракції та регулятору росту рослин.

**Об'єкт і методи дослідження.** При проведенні досліджень використано чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий, з наступними агрохімічними показниками: вміст гумусу (за І.В. Тюрнім) 3,5–4,0%, загального азоту 0,20–0,23%, фосфору 0,10–0,12%, валовий вміст калію 2,0–2,3%. Кількість легкогідролізованого азоту (за І.В. Тюрнім і М.М. Коновою) 10,0–11,4 мг на 100 г сухого ґрунту при можливості поповнення його доступних форм за рахунок

нітрифікаційної здатності (за Кравковим) – 2,4–2,8 мг на 100 г ґрунту. Вміст рухомих форм фосфору в орному шарі становить 8,8–9,8 мг, калію 14,3–15,4 мг у 100 г ґрунту (метод Ф.В. Чирикова). Валовий вміст мікроелементів такий: Zn – 38,8–40,4; Mn – 473,0–484,0; Cu – 12,5–14,2; Co – 8,0–8,3; Fe – 835,0–845,0; Pb – 32,4–33,1; Cd – 0,38–0,39 мг/кг ґрунту і відповідно рухомих форм, що складають невеликий відсоток від валових: рухомого Zn – 0,96–1,20; Cu – 0,13–0,15; Co – 0,42–0,48; Mn – 57,5–63,8; Fe – 27,6–28,0; Pb – 0,05–0,10; Cd – 0,10–0,11 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,75).

В повітряно-сухий ґрунт вносили нітратну форму кадмію, міді та нікелю з розрахунку 3 ГДК, що відповідало середньому рівню забруднення за В.Б.Ільїним (1995). В якості рослини-гіперакумулятора важких металів використовували петрушку кучеряву, ефектору фітоекстракції – ЕДТА, а регулятора росту рослин – препарат “Корневін”. Доза внесення ЕДТА розраховувалась відносно рівня забруднення і становила в 1,5 рази більше еквівалентної кількості, необхідної для утворення хелатів важких металів. Перед висівом насіння петрушки кучерявої опудрювалось препаратом “Корневін”. Повторність досліду чотириразова. Вміст важких металів в біомасі петрушки кучерявої визначали атомно-абсорбційним методом.

**Результати роботи.** Запропонована технологія очистки базується на вилученні важких металів з техногенно забрудненого ґрунту шляхом їх фітоекстракції рослинами петрушки кучерявої у поєднанні з ефектором фітоекстракції ЕДТА, в якому насіння перед висівом у ґрунт обробляють регулятором росту препаратом “Корневін”.

Для підвищення накопичення в рослинах ВМ використовують ефектори фітоекстракції у вигляді комплексонів приміром поліамінополіоцтові кислоти, такі як етилендіамінтетраоцтова (ЕДТА), дігідроксіетілетилендіаміндіоцтова (ДДДА), діетілентріамінпентаоцтова (ДТПА), етиленбіс (оксіетилентріамін) тетраоцтова (ЕТТА), етилендіаміндігідроксіфенілоцтова (ЕДФА), циклогексан – транс – 1,2 – діамінтетраоцтова (ЦДТА) та ін. Ці речовини здатні утворювати стійкі водорозчинні внутрікомплексні сполуки (хелати) з багатьма металами, підвищувати розчинність, а отже рухомість металів в ґрунті, і як наслідок, їх поглинання кореневою системою та накопичування в надземній біомасі.

В хелаті метал знаходиться в напіворганічній формі (рис. 1), для якої характерна висока біологічна активність в тканинах рослинного організму. В природі, знаходячись в ґрунті, рослини використовують природні хелати, такі як гумінові та фульвокислоти. Також хелати утворюються при взаємодії ризосфери з солями ґрунту. Відомо декілька хелаторів для різних елементів, які часто використовуються в сільському господарстві: для кальцію – ОЕДФ, для заліза – ДТПА, для мікроелементів – ЕДТА.

ЕДТА ( $C_{10}H_{16}N_2O_8$ ) здатна утворювати стійкі комплекси в широкому діапазоні рН, навіть у сильнокислому середовищі (табл. 1). Для кожного елементу існує коридор рН, який забезпечує існування стійкого комплексу. Так, комплекс заліза з ЕДТА ефективний при боротьбі з хлорозом тільки на помірно кислих

грунтах. В лужному середовищі він нестабільний. ЕДТА піддається кислотному та ензиматичному гідролізу.

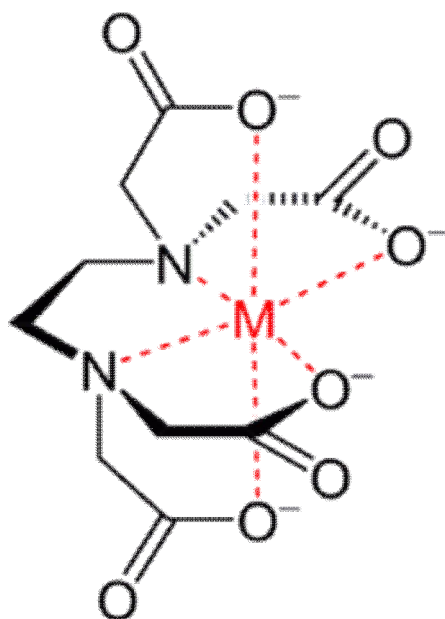


Рис. 1. Хелат іона металу та ЕДТА

Таблиця 1

Константи стійкості комплексів ЕДТА з металами

Катион	$K=[ML]/[M][L]$	$K=[HML]/[H][ML]$	$K=[HML]/[M][HL]$
Be <sup>2+</sup>	9,2	-	-
Mg <sup>2+</sup>	8,8	3,85	2,40
Ca <sup>2+</sup>	10,7	3,18	3,6
Sr <sup>2+</sup>	8,7	3,93	2,4
Ba <sup>2+</sup>	7,9	4,57	2,2
Ra <sup>2+</sup>	7,1	-	-

Розкладання ЕДТА в природному середовищі призводить до утворення більш токсичних продуктів, ніж вихідна речовина. Нерозчинні комплекси ЕДТА менш стійкі, ніж розчинні. Серед переваг застосування ЕДТА для вилучення важких металів з техногенно забруднених агроценозі слід окремо виділити її антивірусні властивості. ЕДТА, як і ДТПА, ДБТА, ЕДДЯ, відноситься до комплексонів, які містять карбоксильні групи.

Внесення ЕДТА в ґрунт в дозах еквівалентних рівню забруднення призводило до утворення хелатів важких металів, забезпечувало доступність останніх для кореневої системи рослин і опосередковано відбивалось через вміст цих токсикантів в біомасі петрушки кучерявої, про що свідчить збільшення коефіцієнту накопичення в майже в 2 рази (табл. 2). Коефіцієнт накопичення розраховувався як відношення концентрації важкого металу в рослині (або її частинах) до валового вмісту в ґрунті і відображав екологічний потенціал щодо можливості вилучення токсиканта стосовно конкретного рівня забруднення.

## Коефіцієнти накопичення важких металів в органах петрушки кучерявої

Варіант	Коефіцієнт накопичення важких металів					
	Надземна частина			Корені		
	Cd	Cu	Ni	Cd	Cu	Ni
Незабруднений ґрунт, без використання ЕДТА та обробки насіння препаратом “Корневін”	0,17	0,07	0,12	0,23	0,09	0,14
Забруднення ґрунту важкими металами в 3 ГДК	0,39	0,19	0,21	0,28	0,11	0,17
Забруднення ґрунту важкими металами в 3 ГДК в поєднанні з використанням ефектору фітоекстракції ЕДТА	0,73	0,51	0,60	0,46	0,24	0,33
Забруднення ґрунту важкими металами в 3 ГДК в поєднанні з використанням ефектору фітоекстракції ЕДТА та обробкою насіння регулятором росту “Корневін”	4,03	3,89	3,94	2,21	2,03	2,18
НСР <sub>0,95</sub> , мг/кг	0,11	0,06	0,09	0,14	0,07	0,08
P, %	0,78	0,56	0,71	0,98	0,64	0,69

Стимулятори знайшли широке застосування при розмноженні рослин. Коренеутворення значно полегшується застосуванням регуляторів росту рослин групи ауксинів, які забезпечують формування коренів з клітин стебла та посилюють розвиток кореневої системи у вегетативних рослинах. Спочатку для стимуляції коренеутворення використовували керуючий цим процесом в рослинах фітогормон – гетероауксин (індоліл-3-оцтова кислота). Діюча речовина препарату “Корневін” 4-(індол-3-іл)масляна кислота, в рослинах поступово перетворюється в фітогормони гетероауксин, забезпечуючи найкращий ефект в самих низьких в порівнянні з іншими ауксинами дозах. Крім того, зручна препаративна форма “Корневіна” (пудра) дозволяє за рахунок високої адгезії (прилипання) до поверхні насіння активізувати проникнення діючої речовини в клітини рослин, що значно підвищує ефективність та спрощує технологію застосування препарату. В результаті застосування препарату масове утворення коренів петрушки кучерявої відбувається на 14-18 днів раніше. Оброблене насіння швидше проростало і нарощувало коріння та надземну біомасу, що сприяло більш інтенсивному поглинанню цих токсикантів; найвищі коефіцієнти накопичення в табл. 2.

Запропонований метод фітоекстракції важких металів дозволяє: по-перше, підтримувати достатню кількість доступних для рослини рухомих форм важких металів в ґрунті, по-друге, збільшити біомасу на 30 % та підвищити значення коефіцієнтів накопичення важких металів в органах зазначеної рослини в 7,9-10,3 рази, що дає можливість забезпечити значний винос металів-забруднювачів, а отже прискорити строки очищення ґрунту. Якщо традиційно вважається, що для ви-

лучення металів-забруднювачів до фонового вмісту потрібно висаджувати рослини 10-15 разів, то запропонований агрозахід скорочує цей строк вдвічі. Крім того слід зазначити, що цей метод є радикальним вирішенням проблеми забруднення важкими металами ґрунту, екологічно безпечний, не потребує значних капіталовкладень, і навіть дозволяє після термічної обробки рослин вдруге використовувати метал, про що свідчить закордонний досвід.

### Висновки

1. Розроблено принципово новий екологічно обґрунтований метод фітоекстракції важких металів з техногенно забруднених чорноземів звичайних малогумусних важкосуглинкових Північного Степу України шляхом поєднання вирощування рослини-гіперакумулятора петрушки кучерявої із застосуванням ефектору фітоекстракції ЕДТА та регулятора росту рослин препарату “Корневін”.

2. Встановлено збільшення коефіцієнту накопичення кадмію, міді та нікелю в біомасі петрушки кучерявої при опудренні насіння регулятором росту рослин препаратом “Корневін” на фоні забезпечення високого рівня рухомості важких металів за рахунок ЕДТА.

### Список літератури

1. Галиулин Р.В. Очистка почв от тяжелых металлов с помощью растений / Р.В. Галиулин, Р.А.Галиулина // Вестник Российской академии наук. – 2008. – Том. 78, №3. – С. 77–85.
2. Башмаков Д.И. Аккумуляция тяжелых металлов некоторыми высшими растениями в разных условиях местообитания / Д.И.Башмаков, А.С.Лукаткин // Агрехимия. – 2002. – № 9. – С. 66–71.
3. Ebbs S.D. Phytoextraction of cadmium and zinc from a contaminated soil / S.D. Ebbs, M.M. Lasat, D.J. Brady // J. Environ. Qual. – 1997. – V. 26. – № 5. – P. 1424-1430.
4. Yakovyshyna T.F. Heavy metals phytoextracriion from technogeneous polluted soil / T.F. Yakovyshyna // Problems and tendencies of modern society development : XIth Intern. Scien. and Pract. Conf. 14-18 october 2011 : materials digest. – Kiev – London, 2011. – P. 20-21.
5. Пат. 60784 Україна, МПК С09 К17/00. Спосіб вилучення важких металів з техногенно забрудненого ґрунту / Яковишина Т.Ф., Шматков Г.Г., Столярова К.М., Вергун О.О.; заявник і патентоволодар Яковишина Т.Ф. - № u2010153156; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.06.211, Бюл. № 12.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 07.05.2013*

УДК 624.131.537

© А.М. Лазников, С.З. Полищук, Б.Е. Собко, А.В. Полищук

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОРТОВ КАРЬЕРА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МОТРОНОВСКО-АННОВСКОГО УЧАСТКА МАЛЫШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Проведены исследования по определению параметров, обеспечивающих устойчивость уступов и бортов карьера для разработки Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения титано-циркониевых руд.