

ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

В.Л. Самохвалова, А.І. Фатєєв, С.Г. Зуза, Я.А. Погромська,
В.О. Зуза, Є.В. Панасенко, П.Ю. Горпинченко

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»

За результатами ґрунтово-геохімічних досліджень зон впливу джерел техногенних емісій забруднення ВАТ «Укрцинк», ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод» Донецької обл. розроблено методичний підхід до вдосконалення фітореємедіації забруднених важкими металами (ВМ) ґрунтів. Обґрунтовано спосіб фітореємедіації техногенно забруднених ВМ ґрунтів для ефективного їх використання, що передбачає розширення спектра застосування фітореємедіантів домінуючих трав'янистих дикоростучих видів рослин конкуруючих родин Asteraceae, Fabaceae та Poaceae з їх чергуванням у просторі і часі для вилучення ВМ різних класів небезпечності з ґрунтів, підвищення ефективності їх біологічної реємедіації з різних шарів ґрунту із збільшенням глибини очищення безпосередньо у районі забруднення ВМ (in situ) на тлі мінімізації необхідних витрат. Технічним результатом розробленого способу є розширення спектра використання рослин-реємедіантів стійких до забруднення конкурентних родин із різним біологічним потенціалом щодо фітоєкстрагування і фітоакумуляування ВМ, чим забезпечується здешевлення очищення ґрунту, оптимізація його використання внаслідок скорочення терміну біологічної реємедіації та відновлення якості забруднених ґрунтів з одночасним уникненням зайвого технологічного навантаження на нього.

Ключові слова: ґрунт, забруднення, важкі метали, хімічна деградація, фітореємедіація, рослини родин Asteraceae, Fabaceae, Poaceae.

Фітореємедіація деєградованих хімічно забруднених ґрунтів різного генезису зон перманентного та константного впливу атємотехногенного забруднення є одним з динамічно розвинених напрямів відновлення їх влаєстивостей, екологічних функцій та якості. Однак відновлення родючості ґрунтів і охорона їх від забруднення є актуальною та однією з найскладніших наукових проблем сучасності, насамперед, тому що ефективна реємедіація техногенно забруднених ґрунтів є результатом вирішення питань методичного, технологічного і правового змієсту та потребує розроблення і проведення комплексу фізичних, фізико-хімічних, хімічних і біологічних заходів. Тому актуальним та важливим як у теоретичному, так і в прикладному аспектах зниження інтенсивності процесів деєградації ґрунтів за впливу хімічного техногенного забруднення є розроблення нових способів їх реємедіації.

Результатом теоретичних та прикладних досліджень лабораторії охорони ґрунтів від техногенного забруднення ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського» щодо розроблення науково-методичних основ реємедіації техногенно забруднених ґрунтів є розроблені методичні рекомендації, нові методичні підходи та способи [1–7].

Аналіз патентів на способи фітореємедіації техногенно забруднених ґрунтів свідчить, що їм характерне використання широкого спектра рослин-реємедіантів. Так, відомо спосіб очищення ґрунтів від ВМ [8], що передбачає розпушення умовно родючого шару, внесення мінеральних добрив (капсульовану природним сорбентом нієтроаємофоску — 800 + 50 г на 100 м²), посів насіння рослин-акумуляєторів ВМ (олійні культури — рієпак (*Brassica napus* L.), сурієпиця (*Barbarea vulgaris* R. Br.), тифон (*Brassica rapa*)). Безумовними недоліками способу є обмеженість його застосування тільки у регіонах шахтних виробок, трудомієсткість та ресурсовитратність його реєалізації.

Інший відомий біологічний спосіб очищення ґрунтів від ВМ здійснюється шляхом вирощування рослин амброзії полинолистої (*Ambrosia artemisiifolia* L.) родини айстрові (*Asteraceae*), або складноцвіті та їх подальшого збирання до набуття повної фази цвітіння та знешкодження або захоплення у спеціально відведених місцях [9]. Проте цей спосіб має істотний недолік, рослини виду *A. artemisiifolia* як карантинний бур'ян характеризуються неконтрольованим розповсюдженням та алергічною дією на людину, що значно знижує доцільність та унеможливорює їх використання як фітомеліорантів забрудненого ґрунту. До того ж *A. artemisiifolia* розвиває у польових умовах значну надземну масу, тому здатна витіснити і пригнічувати культурні рослини [10, 11]. Доведено, що на утворення 1 т сухої речовини цією рослиною вноситься з ґрунту 15,5 кг азоту та 1,5 кг фосфору і близько 950 т води [12]. Окрім того, *A. artemisiifolia*, порушуючи мікробіологічні процеси у ґрунті, пригнічує його целюлозоруйнівну активність, що своєю чергою негативно впливає на стан екосистеми загалом [13–14]. Тому на забруднених ВМ ґрунтах обов'язковим є забезпечення проведення комплексних фітосанітарних заходів з обмеження чисельності *A. artemisiifolia* за одночасного застосування механічних, агротехнічних і хімічних методів, а це підвищує трудомісткість і ресурсовитратність реалізації способу та унеможливорює забезпечення раціонального використання ґрунтів і збереження їх родючості, значно знижує ефективність ремедіації забруднених ВМ ґрунтів та підвищує її вартість.

Найбільше близьким до механізму біологічної ремедіації ґрунту, забрудненого ВМ, за технологічним виконанням і досягнутим результатом є спосіб фіторемердіації техногенно забруднених ґрунтів [15], що передбачає висів та вирощування не менше 30 діб злакових рослин на таких ґрунтах; скошування фітомаси та її утилізацію за попереднього визначання типу і рівня забруднення ВМ; розроблення схеми очищення ґрунтів залежно від особливостей їх забруднення, що включає монокуль-

турні насадження кукурудзи (*Zea mays*) або пшениці (*Triticum* L.). Одним із недоліків такого способу є обмеженість його використання на техногенно забруднених ґрунтах унаслідок виникнення додаткових екологічних проблем, зумовлених високою насиченістю спеціалізованих сівозмін, відчуженням з поля значних обсягів біомаси, істотним обмеженням розподілу робочого навантаження; збіднення ґрунту органічною речовиною; ризику виникнення у районах з промивним режимом ґрунту небезпеки вимивання нітратного азоту з вертикальним і поверхневим стоками та, відповідно, необхідності застосування високих доз азотних і органічних добрив. Іншим недоліком є те, що за монокультури пшениці та кукурудзи збільшується спеціалізованість забур'яненості посівів, виникає підвищений ризик накопичення і поширення інфекцій та шкідників рослин (кукурудза уражається пухирчастою сажкою, гельмінтоспоріозом; пшениця – корневими гнилями та іржею). Тому реалізація способу потребує значних витрат ресурсів на відновлення якості ґрунту, розширення спектра фіторемердіантів забруднених ВМ ґрунтів та урахування їх біологічного потенціалу у просторі і часі.

Мета дослідження – розробити спосіб фіторемердіації забрудненого ВМ ґрунту з урахуванням скорочення терміну біологічної ремедіації та відновлення якості забруднених ґрунтів і одночасного уникнення зайвого технологічного навантаження на ґрунт шляхом розширення спектра застосування рослин-ремердіантів різних конкурентних родин з властивостями ремедіації спрямованої дії відповідно до особливостей забруднення ґрунтів. Спосіб спрямовано на такі досягнення: 1) ефективну біоремердіацію техногенно забруднених ґрунтів шляхом інтенсифікації процесу ремедіації за одночасної мінімізації необхідних витрат на очищення ґрунту, реалізації екобезпечного чергування у вирощуванні конкурентних домінуючих трав'янистих дикоростучих видів рослин різних родин: *Asteraceae* (айстрові) – *Fabaceae* (бобові) – *Poaceae* (злакові) у просторі та часі, що характери-

зуються різним рівнем фітореMediaційної здатності; 2) ефективний вплив запропонованих конкурентних комбінацій певних родин рослин уже з 1-го року їх використання та безперервність ремедіації забруднених ґрунтів із збільшенням глибини очищення безпосередньо у районі забруднення ВМ (*in situ*); 3) подальшу розробку методів екстрагування ВМ із фітомаси рослин за можливості відбору рослин-ремедіантів з властивостями ремедіації спрямованої дії відповідно до особливостей забруднення ґрунтів, що забезпечує подальше здешевлення використання методів їх біологічної ремедіації.

МАТЕРІЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розроблення способу складається з кількох етапів: *проведення патентного пошуку* згідно з ДСТУ 3575-97; *польовий етап* — ґрунтово-геохімічні дослідження на локальному і регіональному рівнях, у т.ч. в умовах сталого впливу джерел атмотехногенних емісій забруднення неорганічного походження ВАТ «Укрцинк» і ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод» Донецької обл., та проведення серії мікропольових дослідів; *аналітичний етап* — визначення типу та рівнів забруднення ґрунту з урахуванням рівнів вмісту рухомих (легкорухомі, обмінні) форм мікроелементів (МЕ) і ВМ у чорноземних ґрунтах різної буферної здатності використання як екстрагентів ацетатно-амонійного буферного розчину з рН 4,8 та 1н НСІ методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії згідно з чинними ДСТУ 4770.1:2007—4770.9:2007; відбір ґрунтових проб проводили відповідно до ДСТУ 4287:2004, ДСТУ ISO 10381-1:2004, ДСТУ ISO 10381-2:2004; рослинних проб — згідно з ДСТУ 3355-96; *камеральний етап* — визначення мікроелементного статусу ґрунтів за результатами експертного оцінювання чинної нормативно-довідкової документації, показником сумарного забруднення (Zс) з урахуванням валових та рухомих (екстрагенти 1н НСІ та ацетатно-амонійний буферний (ААБ) розчин з рН 4,8) форм ВМ (табл. 1), а також фонових рівнів вмісту ВМ для ґрунтів відповід-

ної природно-кліматичної зони України; фітомасу рослин оцінюють за показниками якості вмісту токсичних елементів згідно з чинними нормативними документами (СанПиН 42-123-4089-86; Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках, 1987), чинними в Україні максимально допустимими рівнями вмісту токсичних елементів у рослинній продукції деяких культур: Pb — за ГОСТ 26932; Cd — за ГОСТ 26933, As — за ГОСТ 26930, Hg — за ГОСТ 26927, Cu — за ГОСТ 26931, Zn — за ГОСТ 26934 та згідно з ГОСТ 30538 — для всіх перелічених вище елементів; *завершальний етап* — статистична обробка отриманих даних.

Об'єкти дослідження — ґрунти степової природно-кліматичної зони України за впливу забруднення ВМ та за його відсутності; рослини-ремедіанти різних ботанічних родин та їх морфологічні особливості; способи, прийоми та заходи з біоремедіації забруднених ґрунтів. Методи досліджень: універсальні загальнонаукові, теоретичного аналізу, системний та екосистемний підходи, ландшафтно-геохімічні, лабораторно-аналітичні; статистичні методи обробки даних, експертне оцінювання нормативно-довідкової документації.

Дослідне поле ділили на три частини і застосовували традиційну агротехнологію вирощування злакових, бобових та дрібнонасіненних багаторічних трав, наприклад, відповідно для рядкового висіву та вирощування доміантних трав'янистих дикоростучих видів рослин пирію сизого (*Agropyron glaucum*), буркуну білого (*Melilotus albus*) та цикорію звичайного або дикого (*Cichorium intybus* L.) з чергуванням вирощування рослин у просторі (на полі) — у послідовності *Asteraceae* — *Fabaceae* — *Poaceae*; у часі — впродовж 2-х років їх вегетації з подальшим щорічним скошуванням фітомаси рослин у фазу активного цвітіння. Оцінювання якості фітомаси рослин проводили для реалізації потенційної можливості їх використання та/або утилі-

Таблиця 1
Ефективність запропонованого технічного рішення щодо фітоределації техногенно забруднених ґрунтів

Рівень забруднення ґрунту	Показник сумарного забруднення ґрунту ВМ (Zc)*		Показник сумарного забруднення ґрунту рухомими формами ВМ (Zc) після фітоределації (шар ґрунту 0–20 см)	
	Zc _{вал.} форми	Zc _{ААБ} з рН 4,8	Zc _{ААБ} з рН 4,8	Zc _{1н НСІ}
Повітряно небезпечний	16,7 (8)	26,3 (5)	Специфічність забруднення ґрунту ВМ та пріоритетність використання рослин-ремедантів різних родин	
			Cr>Zn>Ni>Cd>Cu>Pb	Cr>Ni>Zn>Pb>Cd
Помірно	17 (7)	26,3 (5)	2 ротація	
			злакові (<i>Poa</i>) — пірий сизий (<i>Agropyron glaucum</i>)	айстрові (<i>Asteraceae</i>) — цикорій звичайний, або дикий (<i>Cichorium intybus</i> L.)
Низький або допустимий	10,8 (8)	8,4 (5)	1 ротація	
			злакові (<i>Poa</i>) — пірий сизий (<i>Agropyron glaucum</i>)	айстрові (<i>Asteraceae</i>) — цикорій звичайний, або дикий (<i>Cichorium intybus</i> L.)
Умовно чистий	4,7(4)	4,3 (2)	3,7 (5)	11,2 (5)
				3,3 (2)
				2,2 (2)
				1,3 (2)

Примітка: * Розрахунки проведено відповідно до формули
$$Z_c = \sum_{i=1}^n C_i \cdot \phi_i$$
; Zc = N (n), де N — числовий вираз суми коефіцієнтів концентрації хімічних елементів-забруднювачів у ґрунті; n — загальна кількість (сума) елементів-забруднювачів.

зації фітомаси і розроблення схеми ефективного фітоочищення ґрунтів залежно від особливостей їх забруднення.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За підсумками проведення ґрунтово-геохімічних та довгострокових мікропольових досліджень системи «ґрунт – рослина» в зонах перманентного і сталого впливу джерел техногенних емісій поліелементного забруднення ВАТ «Укрцинк», ВАТ «Авдіївський коксохімічний завод» Донецької обл. нами було встановлено, що рослини родин *Poaceae*, *Asteraceae*, *Fabaceae* різняться за здатністю накопичувати ВМ, а для дикоростучих видів рослин відповідних родин характерні вищі рівні накопичення металів порівняно з культурними видами. Окрім того, досліджені трав'янисті дикоростучі види рослин різних родин характеризуються високою зимо- і посухостійкістю, добре розвинутою кореневою системою з глибоким проникненням. Так, фітореMediaція ґрунтів за використання багаторічних дикоростучих трав'янистих рослин відбувається за природних умов, по суті, є самоочищенням без додаткових енергетичних затрат, не потребує спеціальної агротехніки вирощування рослин, а лише проведення моніторингу.

Результати оцінювання екологічного стану ґрунтів (табл. 1) свідчать про наявність локальних зон забруднення ґрунтів валовими і рухомими формами ВМ. Щодо поліелементного забруднення ґрунтів переважно Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, Cr, ефективність біологічної ремедіації, що пропонується, підвищується саме за комбінування домінуючих багаторічних трав'янистих дикоростучих рослин та чергування рослин різних родин у часі й просторі. Окрім того, запропонована послідовність вирощування рослин різних родин: *Asteraceae* – *Fabaceae* – *Poaceae* з різними морфологічними особливостями корневих систем (чергування рослин відповідно до пріоритетної здатності кореневої системи) дає змогу повніше й ефективніше екстрагувати ВМ і використовувати елементи живлення з ґрунту, поліпшити збалансованість трофічного режиму

забрудненого ВМ ґрунту та, своєю чергою, регулювати баланс не тільки мінерального живлення рослин, але й позитивно впливати на вміст органічної речовини у ґрунті завдяки відновленню його структури. До того ж багаторічні дикоростучі трав'янисті рослини (як правило багаторічні бобові) більшою мірою покращують структуру ґрунту, натомість багаторічні складноцвіті і злакові – меншою. Окрім того, запропонований у способі перелік рослин родин *Asteraceae*, *Fabaceae*, *Poaceae* дає змогу вирощувати їх за різних умов ґрунтового середовища (слабокислі, нейтральні, слаболужні ґрунти), збільшити ефективність використання конкурентної здатності рослин різних родин для ефективного поліпшення фітосанітарного стану рослин (упродовж 6 років повної ротації рослин-ремедіантів) у межах запропонованої сівоzmіни, забезпечення раціонального використання техніки, добрив, робочої сили; реалізації біологічного потенціалу рослин із забезпеченням їх росту і отримання більшої продуктивності з метою прискорення фітоекстрагування та підвищення ефекту «біологічного розбавлення» надлишку ВМ у рослинах; екологічної стабілізації навколишнього природного середовища.

Окрім того, отримані дані дають можливість здійснювати добір певної родини рослин-ремедіантів відповідно до особливостей забруднення ґрунтів. Так, Zn накопичують злакові та складноцвіті, Cr – злакові, складноцвіті та бобові, а Cd – складноцвіті. Тобто отримуємо можливість добору рослин з властивостями ремедіації спрямованої дії. Вибір певних родин рослин здійснюють за критеріями їх відмінності щодо фітоекстрагування ВМ, особливостей морфології корневих систем; стійкості до забруднення з урахуванням особливості їх активного росту та рівнів накопичення зеленої маси; здатності споживання рослин свійськими тваринами; частоти їх траплення, поширеності за віднесення до типових представників регіональної флори як у зональних умовах, так і у зонах забруднення ґрунтів ВМ тощо (табл. 2).

Таблиця 2

Критерії відмінності рослин різних ботанічних родин щодо фітоекстрагування ВМ з ґрунту

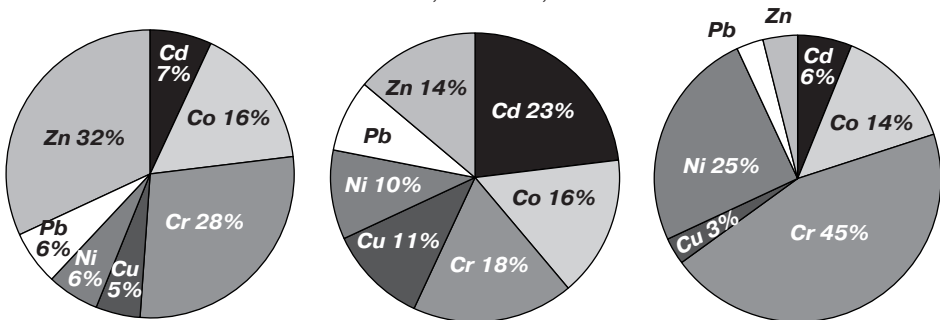
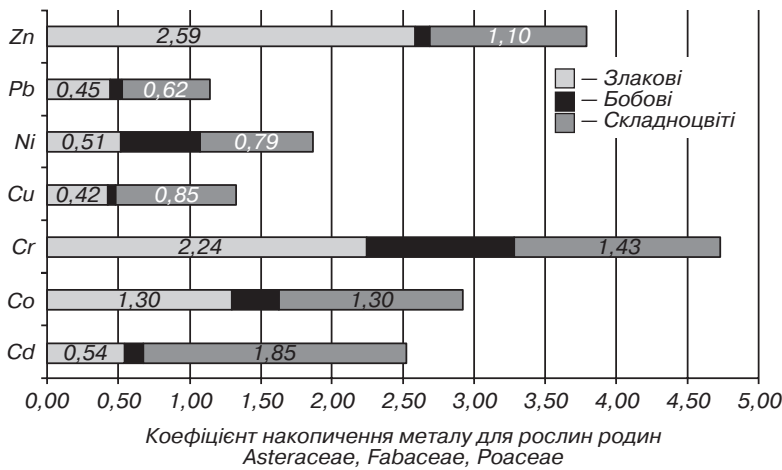
Рослина	Морфологічні особливості рослин різних родин (<i>Asteraceae, Fabaceae, Poaceae</i> , які використано у способі
<i>Agropyron glaucum</i> родини <i>Poaceae</i>	Невимогливість до вологи. Упродовж 1-го року <i>A. glaucum</i> повільно росте і розвивається з утворенням підземних паростків, а також пагонів з листям. У наступні роки утворюються стебла висотою близько 75 см, добре розвинені мичкуваті корені у орному шарі ґрунту 20–30 см (1-й рік), 130–180 см (2-й рік). Ремедіація забруднення ґрунту за допомогою <i>A. glaucum</i> відбувається на різних глибинах. На 2-й рік фіторемедіації <i>A. glaucum</i> скошують у фазу цвітіння, востаннє — наприкінці серпня, щоб рослини встигли утворити насіння, були життєздатними упродовж наступних років ремедіації забруднених ґрунтів. Індикаторні ознаки готовності насіння — пожовтіння соломини приблизно на 75% пагонів, вологість насіння 40–50%. Типові представники регіональної флори.
<i>Melilotus albus</i> родини <i>Fabaceae</i>	Здатність рослин до активного росту на ґрунтах різного гранулометричного складу. Характеризуються зимо- та посухостійкістю, соле- та солонцестійкістю; зелене добриво з характерною особливістю бобових до утворення бульбочок з бактеріями, що забезпечують рослини азотом із атмосфери, сприяють покращенню властивостей ґрунту і накопиченню гумусу, збагаченню ґрунту органічними речками і поживними елементами. Висів насіння <i>M. albus</i> здійснюють ранньої весни. Швидкий ріст та висока продуктивність зеленої маси (200–350 ц/га) і насіння (5,5–8,5 ц/га) забезпечують ефективне фітоекстрагування ВМ з ґрунту. Висота скошування — 15–18 см у фазу цвітіння. Індикаторні ознаки для початку скошування насінників у валки — пожовтіння 1/3 бобів. Травостій потенційно можливо ефективно використовувати впродовж 2–3 років за зберігання густини рослин і усунення необхідності обробки гербіцидами та пестицидами. Типові представники регіональної флори.
<i>Cyborium intybus</i> L. родини <i>Asteraceae</i>	Рослини характеризуються зимо- та посухостійкістю. На 1-му році вегетації у рослин утворюється прикоренева розетка листя, а у ґрунті вже починає формуватися коренелід з потовщеним верхом. На 2-й рік утворюється насіння. Здатність до активного росту, значна висота рослин — 15 (40) — 80 (120) см, тривалий період цвітіння (з червня до осені), довге стрижневе потовщене веретеновидне коріння, що проникає у ґрунт на значну глибину — до ґрунтових вод, забезпечують ефективне екстрагування ВМ із ґрунту. Типові представники регіональної флори.

Результати досліджень свідчать, що використання домінуючих трав'янистих дикоростучих видів рослин різних конкуруючих родин упродовж їх активної вегетації, наприклад, злакових (*Poaceae*), які екстрагують з ґрунту $Cr > Zn > Ni > Cd > Cu > Pb$, бобових (*Fabaceae*), які є ефекторами фітоекстракції $Cr > Ni > Zn > Pb > Cd$ з ґрунту, айстрових (*Asteraceae*), або складноцвітих як фіторемиантів забруднених Cr, Ni, Zn, Cd, Pb ґрунтів (рисунок) сприяло ефективній фітоекстракції ВМ із ґрунту.

За результатами оцінювання якості рослин, відповідно до чинних нормативів, можливим є їх використання на зелений корм як трав'яної муки, силосу, сінажу. У разі отримання фітомаси з підвищеним вмістом ВМ – використовують для вирощування рослин на насіння та виготов-

лення паливних палетів і брикетів, а наступне скошування здійснюють наприкінці вегетації рослин з отриманням насіння, чим забезпечується інтенсифікація процесу біологічної ремедіації і підвищення її ефективності за одночасної мінімізації необхідних витрат на очищення ґрунту.

Розроблений спосіб фіторемиації техногенно забрудненого ґрунту (заявка на патент U2014 09885 від 08.09.2014 р.) доцільно використовувати в агроекології, екоменеджменті ґрунтів для екологічного контролю техногенно забруднених ґрунтів земельних ділянок різного призначення та їх використання; у науково-дослідній практиці – для розробки системи заходів з фіторемиації забруднених територій у складі комплексу біологічних технологічних прийомів відновлення забруднених ґрунтів та відтворення їх ресурсного потен-



Вплив рослин різних родин на ефективність очищення забруднених ґрунтів

ціалу і, зрештою, зниження інтенсивності процесів деградації ґрунтів за впливу техногенного забруднення; для поліпшення якості ґрунтів.

ВИСНОВКИ

Суть запропонованого методичного підходу до фітореємедіації техногенно забруднених ґрунтів ВМ полягає у розширенні спектра використання фітореємедіантів домінуючих трав'янистих дикоростучих видів рослин конкуруючих ботанічних родин *Asteraceae*, *Fabaceae* та *Poaceae* з властивостями реємедіації спрямованої дії відповідно до особливостей забруднення ґрунтів та чергування рослин-реємедіантів у просторі і часі, що забезпечує здешевлення очищення ґрунту, оптимізацію його використання завдяки підвищенню ефективності біореємедіації (скорочення терміну, інтенсифікація процесу, мінімізація необхідних витрат на очищення ґрунту впродовж повної сівозміни) та відновлення якості забруднених ґрунтів за уникнення зайвого технологічного навантаження на ґрунт.

Характерними позитивними особливостями та перевагами запропонованого технічного рішення порівняно з відомими способами та підходами є такі:

- мінімізація витрат на очищення ґрунту завдяки економії коштів, посівного та паливно-мастильних матеріалів за дотримання екобезпечних умов використання конкурентних родин, що характеризуються різним рівнем фітореємедіаційної здатності, чим забезпечується ефективний вплив уже з 1-го року їх використання та безперервність реємедіації забруднених ґрунтів із збільшенням глибини очищення безпосередньо у районі забруднення ВМ (*in situ*);

- інтенсифікація процесу біологічної реємедіації і підвищення його ефективності та використання забруднених ВМ ґрунтів за чергування вирощування домінуючих трав'янистих дикоростучих видів рослин різних родин: *Asteraceae* – *Fabaceae* – *Poaceae* у просторі та часі;

- сприяння подальшій розробці методів екстрагування ВМ із фітомаси рослин за

можливості відбору рослин-реємедіантів з властивостями реємедіації спрямованої дії відповідно до особливостей забруднення ґрунтів, що забезпечує подальше здешевлення використання методів їх біологічної реємедіації.

Подальший розвиток досліджень з фітореємедіації забруднених ґрунтів обумовлено удосконаленням двох базових стратегій – прямої фітореємедіації та фітореєкультивації *ex planta*, удосконаленням науково-методичного забезпечення щодо біореємедіації хімічно деградованих ґрунтів шляхом розробки нових методичних підходів і нових способів фітоекстракції, гіперакумуляції, фітодеградації, фітостабілізації та фітостимуляції чи різодеградації забруднювачів ґрунту, що забезпечить подальше зниження собівартості використання методів біологічної реємедіації *in situ* в зонах перманентного і сталого впливу атмотехногенного забруднення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Самохвалова В.Л. Отдельные подходы к фитомелиорации почв при загрязнении тяжелыми металлами / В.Л. Самохвалова // Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку: Матеріали міжн. конф. «Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку» (Донецьк, 24–26 вересня 2007 р.) – Донецьк, 2007. – С. 387–391.
2. Пат. на корисну модель 20299 UA. Спосіб детоксикації важких металів у системі ґрунт – рослина / А.І. Фатєєв, В.Л. Самохвалова. – Опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1. – 10 с.
3. Фатєєв А.І. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі: Науково-методичне видання (методичні рекомендації) / А.І. Фатєєв, В.Л. Самохвалова. – Х.: КП «Міськдрук», 2012. – 70 с.
4. Спосіб реємедіації ґрунту техногенно забрудненого важкими металами / В.Л. Самохвалова, А.І. Фатєєв, С.Г. Зуза, В.О. Зуза // Агрохімія та ґрунтознавство. – 2013. – Вип. 80. – С. 101–110.
5. Спосіб екологічної реємедіації ґрунту техногенно забрудненого переважно кадмієм, свинцем, цинком та хромом / В.Л. Самохвалова, А.І. Фатєєв, С.Г. Зуза та ін. // Агрохімія та ґрунтознавство. – 2014. – Вип. 81. – С. 51–59.
6. Екологічна реабілітація ґрунтів техногенно забруднених переважно кадмієм, цинком та міддю / В.Л. Самохвалова, Я.А. Погромська, А.І. Фатєєв та ін. // Ґрунтознавство. – 2014. – Т. 15. – № 1–2. – С. 42–52.
7. Пат. на корисну модель 95649 UA. Спосіб прогнозування вмісту рухомих форм важких металів та мікроелементів у ґрунтовій системі

- для ефективності ремедіації і використання / В.Л. Самохвалова, В.І. Лопушняк, А.І. Фатеев, В.М. Горякіна. — Оpubл. 25.12.2014, Бюл. № 24. — 8 с.
8. Пат. на корисну модель 50789 UA. Спосіб очищення ґрунтів породного відвалу вугільних шахт від важких металів / М.Я. Гавриляк, В.І. Баранов. — Оpubл. 25.06.2010, Бюл. № 12. — 9 с.
 9. Пат. на корисну модель 4726 UA. Спосіб очищення техногенно забруднених ґрунтів від важких металів / М.М. Дронь, Ф.О. Чмиленко, Н.М. Смітюк. — Оpubл. 15.02.2005, Бюл. № 2. — 4 с.
 10. *Протопопова В.В.* Синантропная флора Украины и пути ее развития / В.В. Протопопова. — К.: Наукова думка, 1991. — 204 с.
 11. *Протопопова В.В.* Фітоінвазії в Україні як загроза біорізноманіттю: сучасний стан і завдання на майбутнє / В.В. Протопопова, С.Л. Мосякін, М.В. Шевера. — К.: Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного, 2002. — 32 с.
 12. Карантинні шкідливі організми / О.М. Мовчан, І.Д. Устінов, І.Л. Марков та ін. — К.: Світ, 2000. — 200 с.
 13. *Ерєміна Н.В.* Влияние амброзии полыннолистной на экологическое состояние города [Електронний ресурс] / Н.В. Ерєміна, Н.С. Головка, С.Т. Симененко // Прикладна екологія: Зб. наук. праць. — 2009. — № 1. — Режим доступу: <http://dspace.snu.edu.ua:8080/jspui/123456789>
 14. *Жалдак С.М.* Еколого-ценотичні особливості *Ambrosia artemisiifolia* в умовах передгірного Криму / С.М. Жалдак // Екосистеми, їх оптимізація та охорона. — 2011. — Вип. 5. — С. 66–70.
 15. Пат. на корисну модель 76416 UA. Фігоремедіаційний спосіб очищення ґрунтів від важких металів / О.П. Корж, І.Г. Савченко, Н.О. Гура. — Оpubл. 10.01.2013, Бюл. № 1. — 6 с.

УДК 579.663:631.433.3

БИОДИАГНОСТИКА ПОЧВ АГРОЭКОСИСТЕМ ЗАКАРПАТЬЯ

Л.Ю. Симочко

Ужгородський національний університет

Розглянуто методи здійснення біодіагностики ґрунтів за використання сучасних агротехнологій. За результатами експериментальних досліджень виявлено показники ранньої діагностики ґрунтів, що вказують навіть на незначні несприятливі зміни у функціонуванні агроєкосистем. Це — сенсирні показники, до яких належать: чисельність і співвідношення різних еколого-трофічних груп ґрунтових мікроорганізмів, видове біорізноманіття. Інша група біодіагностичних показників дає змогу визначити більші негативні зміни в ґрунті агрогенних екосистем. До цієї групи належать показники функціонального стану ґрунтового угруповання мікроорганізмів, насамперед ферментативна активність. Встановлено, що активність ґрунтових ферментів класу оксидоредуктаз і гідролаз має яскраво виражену сезонну динаміку і залежить від виду використовуваних агротехнологій.

Ключові слова: біодіагностика, ґрунт, ґрунтові мікроорганізми, ферментативна активність, агроєкосистема.

Почва — это главный природный ресурс, исключительно сложный по своему составу, большей частью обновляемый, но, несмотря на это, некоторые виды деятельности человека приводят к серьезному ухудшению ее состояния. Почва является источником продуктов питания, биомассы

и природных материалов, в ней накапливаются, фильтруются и трансформируются некоторые виды веществ, в т.ч. вода и углерод. Структура почвы чрезвычайно разнообразна, только в Европе выявлены 10 000 видов почв, которые объединены в 320 основных категорий. Любое ухудшение ее состояния влияет на другие составляющие экосистемы. В настоящее время дегра-