

УДК 631.445.4:631.15; 504.53.06: 504.054. 272

СПОСІБ ЕКОЛОГІЧНОЇ РЕМЕДІАЦІЇ ҐРУНТУ, ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНОГО ПЕРЕВАЖНО КАДМІЄМ, СВИНЦЕМ, ЦИНКОМ ТА ХРОМОМ

В.Л. Самохвалова, А.І. Фатєєв, С.Г. Зуза, В.О. Зуза, В.М. Горякіна

ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»
(*v.samokhvalova@mail.ru*)

Обґрунтовано спосіб ремедіації ґрунту, техногенно поліелементно забрудненого переважно Cd, Pb, Cr, Zn, у якому за рахунок використання сульфату заліза з додатковим внесенням біогумусу як активатору самоочищення ґрунту і ґрунтополіпшувача пролонгованої дії, відповідно до рівня забруднення ґрунту забезпечується відновлення його природних властивостей та створення резерву поживних речовин у ґрунті, що сприяє відновленню продуктивності рослин та забезпеченню екологічної реабілітації забрудненої системи ґрунт-рослина. Технічним результатом розробленого способу є прискорення мікробіологічних процесів, фізико-хімічної адсорбції важких металів різних класів небезпеки у ґрунті шляхом комплементарного внесення структурополіпшувачів органічного та неорганічного типу чим забезпечується ефективна ремедіація техногенно забруднених ґрунтів, розширюється спектр важких металів, нездатних до міграції у суміжні з ґрунтом середовища та оптимізація і відновлення гумусового стану ґрунту.

Ключові слова: важкі метали (кадмій, свинець, цинк, хром), техногенне забруднення ґрунтів, спосіб, ремедіація.

Вступ. Відновлення родючості ґрунтів та охорона їх від забруднення є актуальною та однією з найбільш складних наукових проблем сучасності. Поліпшення екологічної ситуації на техногенно забруднених ґрунтах шляхом проведення ефективної ремедіації потребує вирішення спектру питань методичного, технологічного і правового характеру за розроблення і проведення комплексу фізичних, фізико-хімічних, хімічних і біологічних заходів для зниження інтенсивності процесів деградації ґрунтів за впливу хімічного техногенного забруднення. Тому актуальним та важливим як в теоретичному плані, так і в прикладному аспекті є розроблення нових способів ремедіації техногенно забруднених важкими металами (ВМ) ґрунтів за створення умов для поліпшення їх екологічного стану і запобігання зниження рівня продуктивності ґрунтів та рослин, погіршення їхньої якості.

Стан вивченості проблеми. Аналіз та ранжування всіх відомих сучасних способів ремедіації системи ґрунт – рослина, моно- та поліелементно забрудненої ВМ, представлено у попередніх розробках як результат виконання фундаментальних досліджень [1-5].

Аналіз патентів щодо способів екологічної реабілітації техногенно забруднених ВМ ґрунтів свідчить, що найближчим (за технічною суттю) до розроблюваного нами способу є відомий спосіб з використанням водного розчину гумінових кислот (ГК), вилучених із низинного торфу [6]. Зниження токсичності забруднених ґрунтів досягається шляхом хімічного зв'язування катіонів ВМ у нерозчинні сполуки за допомогою ГК. Проте, вихідні ГК мають, як правило, малу активність (як наслідок низької гідратованості і дисперсності, блокування їх активних центрів різними компонентами), що вимагає включення додаткового етапу отримання водорозчинних ГК та значно ускладнює і збільшує вартість

проведення робіт з детоксикації ВМ ґрунту. Також спосіб не враховує склад та характер забруднення і буферні властивості ґрунтів, що призводить до зниження ефективності їх ремедіації.

Відомо інший спосіб відновлення родючості (оптимізація структурного стану, підвищення мікробіологічної активності) малобуферного піщаного забрудненого ґрунту [7]. Спосіб передбачає внесення у ґрунт торфу та органічного добрива з вмістом протеїну 4 % у масовому співвідношенні 1:1-2, суспензію активного мулу в кількості 0,05-0,3 %, у співвідношенні С:N:P рівному 100:5:1. Недоліком такого способу є трудомісткість його виконання та багатовитратність, збереження екологічного ризику вторинного забруднення ґрунтів внаслідок підвищеного вмісту ВМ в активному мулі.

Найбільш близьким за технічною суттю й результатом, що досягається, є спосіб, що передбачає використання водорозчинних солей заліза сукупно з азотними добривами у певному співвідношенні [8]. Ефективність детоксикації ВМ досягається завдяки фізико-хімічній адсорбції та зменшення рухомості ВМ у техногенних ґрунтах з нейтральними і лужними властивостями, утворюються стійкі органо-мінеральні комплекси, що недоступні кореням рослин. Такий підхід забезпечує ефективність використання детоксикантів, але, оскільки забруднення ВМ у зонах його сталої дії носить поліелементний характер, із всього спектру дії ВМ знижується рухомість лише Pb і Cd. Крім того, залізо є антагоністом фосфору, цинку та марганцю і тому ризик гальмування надходження фосфору та мікроелементів до рослин зростає. До того ж, на фоні тривалого внесення азотних добрив, відбувається зменшення вмісту аморфного заліза в ґрунті, знижується ефективність дії сульфату заліза як детоксиканта, спостерігається пептизація і видалення глинистих колоїдів, що може призвести до руйнації ґрунтового поглинального комплексу, втрати агрономічно цінної структури ґрунту і ґрунтової родючості. Разом з утратою глинистих мінералів втрачається і стійкість ґрунтів до забруднення ВМ.

Мета дослідження – розробити спосіб ремедіації ґрунту, забрудненого переважно Cd, Pb, Cr, Zn, через прискорення мікробіологічних процесів, фізико-хімічної адсорбції ВМ різних класів небезпеки шляхом комплементарного внесення структурополіпшувачів органічного та неорганічного типу. Спосіб спрямовано на ефективну ремедіацію техногенно забруднених ґрунтів, розширення спектру ВМ, нездатних до міграції у суміжні з ґрунтом середовища та оптимізацію і відновлення гумусового стану ґрунту, впливаючи на активацію самоочищення ґрунтів від ВМ, сприяючи покращенню екологічного стану ґрунтів в районах з інтенсивним впливом атмотехногенного забруднення за одночасного підвищення біоенергетичного потенціалу і буферної здатності ґрунтів; забезпечуючи пролонгованість дії детоксикантів, створення резерву поживних речовин ґрунту, підвищення стійкості рослин до забруднення за відновлення їхньої продуктивності.

Об'єкт і методи дослідження. Розроблення способу включало: *проведення патентного пошуку* згідно з ДСТУ 3575-97; *польовий етап* – ґрунтово-геохімічні дослідження на локальному і регіональному рівнях, в тому числі, за умов сталого впливу джерел атмотехногенних емісій забруднення неорганічної природи Зміївської ТЕС ПАТ "Центренерго" НАК "Енергетична компанія України" Харківської області і ВАТ «Укрцинк» Донецької області та проведення серії мікропольових дослідів; *аналітичний етап* – визначення рівнів

вмісту рухомих форм мікроелементів (МЕ) і ВМ у чорноземних ґрунтах різної буферної здатності за використання як екстрагентів ацетатно-амонійного буферного розчину з рН 4,8 та 1н НСІ згідно з чинними ДСТУ 4770.1:2007 – ДСТУ 4770.9:2007; *камеральний етап* – оцінка мікроелементного статусу ґрунтів за експертного оцінювання нормативно-довідкової документації, статистична обробка отриманих даних.

Об'єкти патентного пошуку – об'єкти авторського права, які запатентовано в Україні та країнах СНД, ЄС в площині поставленої мети. Предмет пошуку – спосіб в цілому; окремі операції (етапи) способу, що є самостійним патентоспроможним об'єктом; способи їх одержання і галузь застосування; обладнання, що використовують для здійснення способу. Методи досліджень – експертна оцінка, аналізування, співставлення.

Об'єкти дослідження – ґрунти Лісостепової і Степової природно-кліматичних зон України за впливу забруднення ВМ та за його відсутності; інактиватори токсичності органічної та неорганічної природи; способи, прийоми та заходи щодо ремедіації забруднених ґрунтів. Методи досліджень – універсальні загальнонаукові методи, методи теоретичного аналізу, системний та екосистемний підходи, ландшафтно-геохімічні, лабораторно-аналітичні; статистичні методи обробки даних, експертне оцінювання нормативно-довідкової документації.

Ремедіанти (сульфат заліза, біогумус) одноразово вносили у ґрунт відповідно до встановлених рівнів поліелементного забруднення ґрунту ВМ (Cd, Pb, Cr, Zn): *за помірних рівнів забруднення*, одноразово на 5 років – сульфат заліза ($\text{FeSO}_4 \cdot x7\text{H}_2\text{O}$) – 300-500 кг/га, біогумус – 2000 кг/га; *за небезпечною рівня забруднення*, одноразово на 2-3 роки - сульфат заліза - 800-1500 кг/га, біогумус – 4000 кг/га; *за надзвичайно небезпечною рівня забруднення*, одноразово щорічно – сульфат заліза – 2500-3000 кг/га, біогумус – 6000 кг/га.

Внесення ремедіантів проводили відповідно до методичних рекомендацій щодо обґрунтування ГДК вмісту хімічних речовин у ґрунті [9], сульфату заліза у сухому вигляді і послідовного внесення біогумусу – за використання чинних методичних рекомендацій [10]. Спосіб внесення біогумусу, як концентрованого органічного добрива пролонгованої дії – поверхневий, весною під передпосівну культивування ґрунту впливаючи на активацію самоочищення ґрунтів від ВМ, підвищення ефективності ремедіаційної дії сульфату заліза.

Використовували готовий біогумус (вермікомпост) – продукт фізичної та біохімічної трансформації перепрілого гною ВРХ, як органічного субстрату з терміном вермікомпостування у 6 місяців, що утворюється як результат взаємодії дощових черв'яків і мікроорганізмів. Внесений біогумус характеризувався таким складом: гумус – 8 %; загальний вміст органічних речовин – 40 %; гумінові речовини – 25 %; рН – $7,1 \pm 0,4$; N загальний – 0,5 %; P загальний – 0,8 %; K загальний – 1,5 %; Ca – 4 %; Mg – 0,8 %; зольність – 35 %; вологість – 14 %). Вміст ВМ у біогумусі нижче ГДК для ґрунту та не перевищував встановлених нормативних значень і відомих вимог щодо вмісту ВМ в органічних добривах (табл.1).

Оцінку екологічного стану ґрунтів щодо мікроелементного статусу та вмісту ВМ проводили згідно з діючими нормативами і методичною базою, використовуючи показник сумарного забруднення (Zc) та фонові рівні вмісту ВМ для ґрунтів Лісостепової і Степової природно-кліматичних зон України [11]. Отримані величини характеризують локальні зони забруднення ґрунтів за вмістом валових і рухомих форм ВМ (надзвичайно небезпечний рівень забруднення – за

ГДК $BM > 5$; $Zc_{\text{вал. форми}} = 178$ (8); $Zc_{\text{ААБ з рН 4,8}} = 265$ (8); $Zc_{1\text{HCl}} = 89,4$ (7); небезпечний рівень – за ГДК $BM-2-5$; $Zc_{\text{вал. форми}} = 16,7$ (8); $Zc_{\text{ААБ з рН 4,8}} = 185$ (9); $Zc_{1\text{HCl}} = 29,7$ (6); помірний рівень забруднення – за ГДК $BM - 2$; $Zc_{\text{вал. форми}} = 10,8$ (8); $Zc_{\text{ААБ з рН 4,8}} = 8,4$ (5); $Zc_{1\text{HCl}} = 7,3$ (5)).

1. Вимоги щодо обмеження вмісту BM в органічних добривах

Нормативний документ	Вміст BM в органічному добриві (мг/кг сухої речовини)					
	Cd	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr
Біогумус (вермікомпост)	0,15	5,22	1,90	41,2	6,36	3,96
ТУ 9819-238-00008064-98	2	132	130	220	-	-
Норма (Справочная книга, 2001)	20	1000	750	2500	300	750
ГДК (ГОСТ Р17.4.3.07-2001)	30	1500	500	3500	400	1000

Оцінювання ефективності ремедіації ґрунту за вмістом рухомих форм елементів-забруднювачів проводили за коефіцієнтами захисних властивостей ґрунту (Kz , %) та забруднення ґрунту рухомими формами BM (Kzg , *разіє*), які визначають відповідно до формул 1 та 2.

$$Kz = 100 - C_{p.f.} / C_{\text{вал.ф.}} \times 100 \%, \quad (1)$$

де: $C_{p.f.}$ – вміст рухомих форм BM у ґрунті після очищення (екстрагент 1HCl , мг/кг), $C_{\text{вал.ф.}}$ – валовий вміст BM у ґрунті (мг/кг).

Коефіцієнт захисних властивостей ґрунтів (Kz) характеризує частку рухомих кислоторозчинних форм хімічного елемента у загальному його вмісті у ґрунті, що знаходиться у сполученій формі та є недоступною для рослин.

$$Kzg = C_{p.f.} / C_{\text{фон}}, \quad (2)$$

де: $C_{p.f.}$ – вміст рухомих форм BM у ґрунті після очищення (екстрагент буферний розчин ацетат амонію з рН 4,8; мг/кг), $C_{\text{фон}}$ – фоновий вміст рухомих форм BM (мг/кг ґрунту).

Коефіцієнт забруднення ґрунту рухомими формами BM (Kzg) характеризує кількість рухомих форм певного хімічного елемента, що перевищує природний фоновий рівень його вмісту у ґрунті.

Необхідність уведення відповідних коефіцієнтів обумовлена доцільністю переходу до безрозмірних величин для підвищення об'єктивності оцінювання ефективності ремедіації техногенно забруднених ґрунтів BM , що належать до різних класів небезпеки (Cd, Pb, Zn – 1 клас; Cr – 2 клас), характеризуються різними рівнями загального природного вмісту у ґрунтах (Cd – 1, Pb – 10, Zn – 53; Cr – 52 мг/кг) і різною рухомістю у забруднених ґрунтах (Cd – 26,7-92,3 %, Pb – 21,7-74 %, Zn – 16,8-47 %; Cr – 3,9-7,8 %).

Оцінку ефективності дії комплексу ремедіації техногенно забрудненого BM ґрунту також проводять в експериментах *in vivo*. Тест культура ячмінь (*Hordeum*). Продуктивність агрофітоценозів визначають у кінці вегетаційного періоду. Тест реакції – біологічна активність ґрунту (целюлозолітична та нітрифікаційна активність, емісія CO_2) згідно з відомими методами мікробіологічних та біохімічних досліджень забруднених ґрунтів: методу Д.Г. Звягинцева (1980); аплікаційних методів за Е.Н. Мишустиним (1971); визначання рівнів емісії CO_2 ґрунтом за методиками І.Н. Шаркова (1987) та В.Н. Макарова (1988). Дослідження колоїдів

ґрунту та їх фракцій проводили за методами Н.И. Горбунова (1957), А.Ф. Тюлина (1958). Обробку отриманих даних здійснювали за використання методів математичної статистики в рамках пакету програм *Statistica 10*.

Результати. За підсумками проведення довгострокових польових досліджень в зонах техногенного впливу було встановлено, що сульфат заліза та біогумус, які внесені окремо на техногенно забруднених ВМ ґрунтах для інактивації їхньої токсичності по різному взаємодіють з металами-токсикантами. Ефективність дії підвищується саме за комбінування їх внесення відповідно до рівня забруднення ґрунтів з нейтральною або лужною реакцією ґрунтового середовища. При цьому, біогумус, як органічне добриво і структурополіпшувач техногенно забруднених ВМ ґрунтів, підсилює ефективність періоду дії сульфату заліза, що сприяє пролонгації їх сумісного впливу у забрудненій системі ґрунт – рослина. За таких умов утворюються стійкі органо-мінеральні комплекси, які включають ВМ, посилюються окиснювальні процеси; біогумус активує функціонування бактеріальної мікрофлори за зростання біомаси мікроорганізмів, внаслідок чого посилюється процес біологічного поглинання металів і залучення їх у біомасу мікроорганізмів ґрунту. Необхідною умовою, при цьому, є його більша інтенсивність, порівняно з мінералізацією органічної речовини ґрунту, що сприяє сорбції ВМ аморфними колоїдами гідрооксидів та оксидів заліза, які мають велику ємність вбирання. Фіксовані мікроорганізмами ВМ є менш доступними для рослин, порівняно з ВМ, що адсорбовані глинистими мінералами ґрунту. Таким чином шляхом впливу на процеси мінералізації та гуміфікації органічної речовини у ґрунтовій системі забезпечується технічний результат – екологічна ремедіація забруднених ВМ ґрунтів.

Встановлено, що поєднання у комплекс структурополіпшувачів ґрунту різної природи і забезпечило позитивний вплив на активацію як мікробіологічних (целюлозолітична активність, емісія CO_2), так і фізико-хімічних процесів у ґрунті (іонний обмін, адсорбція і абсорбція, сокоагуляція, переведення легкокорозивних сполук ВМ у важкорозчинні), що підтверджується результатами досліджень (табл.2-4, рис.1).

Фізико-хімічні зміни, які відбуваються у ґрунті за внесення сульфату заліза і в результаті впливу низькомолекулярних органічних сполук у складі біогумусу та нейтральних і лужних умов середовища ґрунту, сприяють сукупній коагуляції золю гідрооксиду заліза з органічною речовиною ґрунту, чим знижується рухомість ВМ (табл.2), які сполучені з водорозчинними органічними речовинами; забезпечується сприяння фізико-хімічній адсорбції ВМ із ґрунтового розчину. Таким чином, розраховані величини оцінювальних коефіцієнтів, згідно з табл.2, характеризують ступінь очищення ґрунту від ВМ після використання сульфату заліза та біогумусу, як заходів детоксикації різних рівнів забруднення ґрунту і є підтвердженням ефективного їх комбінування. Так, коефіцієнт забруднення ґрунту рухомими формами Cd знижується до 0,5-3-11 порівняно з контролем, де цей показник становив відповідно 1,5-5-15. Аналогічну закономірність також встановлено для рухомих форм Pb, Zn та Cr ґрунту. Підсумком чого є високе очищення ґрунтів від ВМ, утворення стійких сполук з мінеральними і органічними колоїдами ґрунту; інтенсифікація процесів мінералізації гумусу за підвищення вмісту водорозчинного вуглецю у ґрунті (табл.3), що до певних меж є позитивним для поліпшення екологічного стану ґрунтів у районах з інтенсивним атмотехногенним забрудненням ВМ.

2. Оцінювання ефективності ремедіації забрудненого ґрунту за коефіцієнтами забруднення та захисних властивостей ґрунтів

Варіанти ремедіації відповідно до рівнів техногенно забруднених ґрунтів ВМ	Коефіцієнт забруднення ґрунту рухомими формами ВМ ($K_{зе}$)				Коефіцієнт захисних властивостей ґрунтів відносно ВМ ($K_{з}$, %)			
	Cd	Pb	Zn	Cr	Cd	Pb	Zn	Cr
<i>помірний рівень забруднення</i>								
Контроль (забруднений ґрунт)	1,5	4,0	3,0	2,0	69,0	59,0	75,0	96,0
FeSO ₄ ·7H ₂ O 300-500 кг/га + біогумус 2 т/га	0,5	3,0	2,5	1,5	76,0	62,0	78,0	97,0
<i>небезпечний рівень забруднення</i>								
Контроль (забруднений ґрунт)	5,0	54,0	7,0	6,0	50,0	46,0	64,0	94,0
FeSO ₄ ·7H ₂ O 800-1500 кг/га + біогумус 4 т/га	3,0	53,0	6,0	4,5	59,0	47,0	68,0	95,0
<i>надзвичайно небезпечний рівень забруднення</i>								
Контроль (забруднений ґрунт)	15,0	171,0	218,0	18,0	32,0	51,0	53,0	92,0
FeSO ₄ ·7H ₂ O 2,5-3 т/га + біогумус 6 т/га	11,0	165,0	200,0	14,0	36,0	55,0	54,0	92,8

Однак ми встановили, що внаслідок ефективної екологічної ремедіації за введення структурополіпшувачів у складі комплексу, що пропонується, збільшується ризик надмірної мінералізації гумусу, що може призвести до порушення вуглецевого балансу ґрунту і нівелювання ефекту ремедіації забруднення. До того ж, ми встановили, що без біогумусу внесення сульфату заліза обмежено дозою 600 кг/га, за перевищення якої спостерігаються негативні явища – збільшується вміст ґрунтових колоїдів, що пептизуються водою і, відповідно, зменшується частка сполук ґрунту які не піддаються пептизації.

За результатами досліджень колоїдів ґрунту та їх фракцій було встановлено, що внесення біогумусу є ефективним важелем впливу на екологічне відтворення вуглецевого балансу ґрунту, відновлення та поліпшення його структури (в тому числі і за рахунок послаблення інтенсивності процесів мінералізації гумусу), фіксацію ВМ колоїдами ґрунту та органічними речовинами біогумусу, збільшення поглинальної здатності ґрунтів і рН, зниження вмісту водорозчинного вуглецю (табл. 3). Отже, зменшення забруднення ґрунту констатовано збільшенням коефіцієнту захисних властивостей ґрунтів відносно ВМ, і таким чином, підтверджено ефективність запропонованого способу екологічної ремедіації і його перевагу. Також за результатами мікробіологічних та біохімічних досліджень було встановлено посилення активності біологічної складової ґрунту, зокрема, целюлозолітичної і нітрифікаційної активності та емісії CO₂ ґрунтом (табл. 4).

За можливості активізувати природний біологічний потенціал ґрунту та на фоні зниження негативного впливу ВМ поліпшується екологічний стан ґрунту, що позитивно позначається на продуктивності рослин ячменю (рис. 1, варіанти 1-4 порівняно з контролем – варіант 5). Це є додатковим підтвердженням ефективності запропонованого способу комплементарного внесення сульфату заліза і біогумусу та надає можливість їх впроваджувати як ефективні ремедіанти відновлення техногенно забруднених ВМ ґрунтів.

3. Вплив ремедіантів на стан колоїдів та їх фракцій у забрудненому ґрунті

Варіанти ремедіації техногенно забруднених ґрунтів	Колоїди I фракції тонкодисперсних часток (1н NaCl), %	Колоїди II фракції тонкодисперсних часток (0,004н NaOH), %	Колоїди III фракції тонкодисперсних часток (0,05н HCl), %	Залишок	Водорозчинний С, мг/100 г у шарі ґрунту 0-20 см	
					1-й рік дії	2-й рік дії
Контроль (техногенно забруднений ґрунт) FeSO ₄ x7H ₂ O FeSO ₄ x7H ₂ O + азотні добрива	38,90	1,64	2,73	48,41	8,1	-
	37,94	1,01	3,12	49,79	9,71	-
	38,20	1,45	5,35	51,10	11,21	-
<i>Відповідно до протолилу</i>						
Контроль (техногенно забруднений ґрунт) FeSO ₄ x7H ₂ O FeSO ₄ x7H ₂ O + біогумус	33,33	2,46	2,79	53,17	7,90	8,15
	34,42	5,26	4,53	55,63	10,44	11,05
	40,40	5,89	3,60	57,26	9,20	8,40
<i>Відповідно до запропонованого способу</i>						

4. Вплив комбінування ремедіантів на показники біологічної активності забрудненого ґрунту

Варіанти комбінації детоксикантів	Інтенсивність емісії CO ₂ ґрунтом, мг/м ²		Целюлозолітична активність, %		Нітрифікаційна активність, NO ₃ ⁻ мг/100 г ґрунту	
	Lim	M	Lim	M	lim	M
Контроль (техногенно забруднений ВМ ґрунт)	129,32 - 138,40	133,86	15,50 - 20,50	18,00	3,15 - 6,14	4,64
FeSO ₄ x7H ₂ O 500 кг/га	135,99 - 152,10	144,05	14,90 - 25,77	20,33	3,29 - 7,10	5,19
FeSO ₄ x7H ₂ O 500 кг/га + біогумус 2 т/га	144,89 - 162,92	153,90	16,55 - 26,00	21,28	4,50 - 5,90	5,20
FeSO ₄ x7H ₂ O 1500 кг/га	135,58 - 149,99	142,78	21,10 - 52,00	36,55	3,42 - 6,01	4,71
FeSO ₄ x7H ₂ O 1500 кг/га + біогумус 2 т/га	159,64 - 180,78	170,21	26,60 - 62,10	46,00	3,41 - 7,85	5,63

Розроблений спосіб ремедіації ґрунту, техногенно забрудненого ВМ, доцільно використовувати в агроекології, екотоксикології ґрунтів, екологічній експертизі, за розробки комплексу заходів ремедіації ґрунтів забруднених територій і, як наслідок, для зниження інтенсивності процесів деградації ґрунтів за впливу хімічного забруднення, за створення умов для покращення екологічного стану ґрунту і запобігання зниження рівня продуктивності рослин, погіршення їх якості.

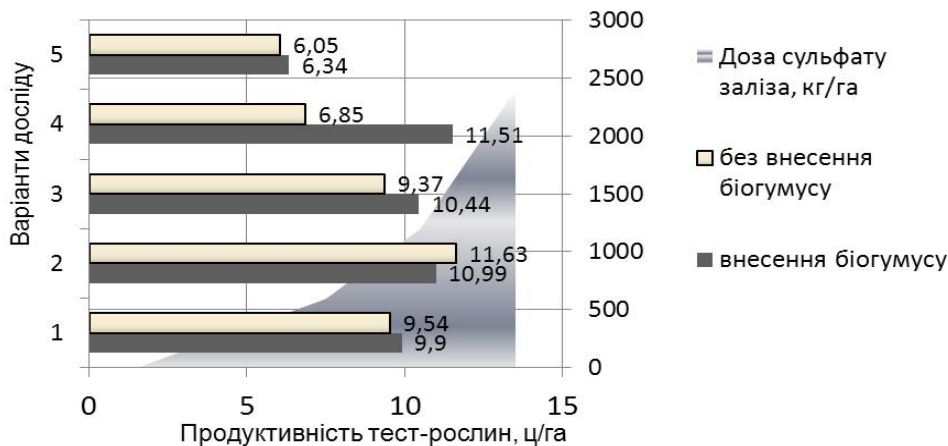


Рис. 1. Вплив сульфату заліза та біогумусу на продуктивність рослин *Hordeum*

Висновки. Відмітними рисами та перевагами запропонованого технічного рішення, порівняно з відомими способами та підходами, є такі:

активація самоочищення ґрунтів за різних рівнів їх забруднення переважно Cd, Pb, Cr, Zn, в районах інтенсивного впливу сталих джерел техногенних емісій за прискорення мікробіологічних та фізико-хімічних процесів ґрунтів за одночасного підвищення біоенергетичного потенціалу і буферної здатності ґрунтів;

зменшення ресурсовитратності виконання процедур ремедіації забруднених ґрунтів завдяки відновленню природних властивостей ґрунту, забезпечення пролонгованості дії детоксикантів за створення резерву поживних речовин ґрунту, підвищення стійкості рослин до забруднення за відновлення їх продуктивності;

об'єктивність оцінки ефективності ремедіації техногенно забруднених ґрунтів ВМ різних класів небезпеки та рівнів техногенного забруднення за використання коефіцієнтів захисних властивостей ґрунту і забруднення ґрунту рухомими формами ВМ.

Список використаної літератури

1. Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Зуза С.Г., Зуза В.О. Спосіб ремедіації ґрунту техногенно забрудненого важкими металами // Агрохімія та ґрунтознавство. – 2013. - Вип.80. – С. 101-110.
2. Фатєєв А.І., Самохвалова В.Л. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі. Науково-методичне видання (методичні рекомендації). - Харків: КП «Міськдрук», 2012. – 70 с.
3. Пат. на корисну модель 20299 UA, Спосіб детоксикації важких металів у системі ґрунт – рослина / Фатєєв А.І., Самохвалова В.Л.; опубл. 15.01.2007, Бюл. №1.
4. Пат. на корисну модель 85002 UA, Спосіб ремедіації техногенно забрудненого важкими металами ґрунту / Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Зуза С.Г., Зуза В.О.; опубл. 11.11.2013, Бюл. №21.
5. Пат. на корисну модель 85544 UA, Спосіб екологічної реабілітації ґрунту техногенно забрудненого переважно кадмієм, свинцем, цинком та хромом / Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Зуза С.Г., Зуза В.О., Горякіна В.М.; опубл. 25.11.2013, Бюл. №22.

6. Пат. на корисну модель 77871 UA Спосіб зниження вмісту рухомих форм важких металів в техногенно забрудненому ґрунті / Крамарьов С.М., Лебідь Є.М., Деркачов Е.А. та ін.; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.

7. Пат. на корисну модель 88016 UA Спосіб відновлення ґрунту після його очищення від важких металів / Ніковська Г.М., Ульберг З.Р., Калініченко К.В., Стріжак Н.П.; опубл. 10.09.2009, Бюл. № 17.

8. Пат. на корисну модель 38192 UA Спосіб детоксикації важких металів у техногенних ґрунтах / Байрак М.В., Зуза В.О.; опубл. 15.05.2001, Бюл. №4.

9. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. - М., 1982. - 57 с.

10. Довідник агронома по удобренню // За ред. П.А. Власюка, П.О. Дмитренка - Київ: Держсільгоспвидав, 1962. - 680 с.

11. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт-рослина Методика / За ред. Фатєєва А.І., Самохвалової В.Л. - Харків: КП «Міська Друкарня», 2012. – 146 с.

Стаття надійшла до редколегії 15.01.2014

METHOD OF SOILS ENVIRONMENTAL REMEDIATION POLLUTED MAINLY BY CADMIUM, LEAD, ZINC AND CHROMIUM

V.L. Samokhvalova, A.I. Fateev, S.G. Zuza, V.O. Zuza, V.M. Gorjakina

NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky"
(v.samokhvalova@mail.ru)

A method of contaminated soils remediation from technogenic polyelemental pollution of Cd, Pb, Cr, Zn is substantiated, where in using of ferrous sulphate with addition of vermicompost as a soil activator self cleaning and soils improver prolonged effects, according to the level of soil contamination is provided by restoring its natural properties and an allowance nutrients in the soil, which helps to restore the productivity of plants and environmental rehabilitation of contaminated soil-plant system. The technical result of the designed method is the acceleration of microbiological processes, physical and chemical adsorption of heavy metals of different classes of hazards in the soil by complementary introducing additional soils structure improves combinations of organic and inorganic nature, which ensures effective remediation of polluted soils, expanding the range of heavy metals spectrum, that are unable to migrate into adjacent to the soil environment, protection and optimization, and restore of soil humus condition.

Key words: heavy metals (cadmium, lead, zinc and chromium), technogenic pollution of soils, the method of remediation.

УДК 630.26

АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНІ ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛЕЗАХИСНОГО ЛІСОРозВЕДЕННЯ В ОДЕСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Г. Б. Гладун¹, Ю. Г. Гладун¹, Л.В. Єстеревська²

¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького

²ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського
(gladun@uriffm.org.ua)

Розглянуто принципи формування полезахисних лісових насаджень з урахуванням сучасних вимог, їх оптимізовану структуру та кількісні показники за ґрунтово-кліматичними підзонами, розраховані у відповідності до особливостей природних умов регіону.

Ключові слова: лісові смуги, полезахисна лісистість, агроландшафти.

Вступ. Одеська область є найбільшою за площею областю України. Вона охоплює територію Північно-Західного Причорномор'я і за фізико-географічним районуванням розміщена у Північному (байрачному) Степу, Посушливому Степу і Лісостепу. Це визначає її високий агровиробничий потенціал і значне біологічне та ландшафтне різноманіття. Однак, географічне положення області обумовлює