



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **95649** (13) **U**
(51) МПК (2014.01)**A01B 79/00****A01N 63/00****B09C 1/00****C09K 17/00****G01N 33/24** (2006.01)ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ****(21)** Номер заявки: **u 2014 08753****(22)** Дата подання заявки: **04.08.2014****(24)** Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **25.12.2014****(46)** Публікація відомостей
про видачу патенту: **25.12.2014, Бюл.№ 24****(72)** Винахідник(и):**Самохвалова Валентина Леонідівна (UA),
Лопушняк Василь Іванович (UA),
Фатєєв Анатолій Іванович (UA),
Горякіна Вікторія Миколаївна (UA)****(73)** Власник(и):**НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
"ІНСТИТУТ ҐРУНТОЗНАВСТВА ТА
АГРОХІМІЇ ІМЕНІ О.Н. СОКОЛОВСЬКОГО",
вул. Чайковська, 4, Харків - 24, 61024 (UA)****(54) СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ВМІСТУ РУХОМИХ ФОРМ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ТА МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У ҐРУНТОВІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМЕДІАЦІЇ І ВИКОРИСТАННЯ****(57) Реферат:**

Спосіб прогнозування вмісту рухомих форм важких металів та мікроелементів у ґрунтовій системі для ефективної ремедіації і використання включає відбір зразків, їх аналізування та прогнозування вмісту мікроелементів (МЕ) у ґрунті за математичними моделями, що ураховують встановлені залежності співвідношення вмісту вуглецю гумінових ($C_{ГК}$) і фульвокислот ($C_{ФК}$) з МЕ ґрунту. Додатково визначають показник гідролітичної кислотності ґрунту (H_+) у ґрунтових зразках із застосуванням органо-мінеральної та/або мінеральної, та/або органічної систем удобрення і, за техногенного забруднення важкими металами (ВМ) та на основі отриманих математичних моделей і встановлених залежностей діагностичних показників, визначають прогнозований вміст рухомих форм МЕ (ВМ) у ґрунті, наприклад для темно-сірого ґрунту вміст Pb (1), Cd (2), Ni (3), Zn (4):

 $Z_{Pb} = 0,15 - 0,27x + 0,40y$ ($r = 0,71$; $R^2 = 0,50$; $F(2,9) = 4,36$), (1) $Z_{Cd} = 0,24 - 0,15x + 0,012y$ ($r = 0,62$; $R^2 = 0,45$; $F(2,9) = 2,8$), (2) $Z_{Ni} = -1,1 + 0,61x + 0,5y$ ($r = 0,97$; $R^2 = 0,94$; $F(2,9) = 78,5$), (3) $Z_{Zn} = -9,02 + 3,45x + 1,95y$ ($r = 0,86$; $R^2 = 0,75$; $F(2,9) = 13,37$), (4)

де Z_{Pb} , Z_{Cd} , Z_{Ni} , Z_{Zn} - прогнозований (розрахунковий) вміст рухомих сполук відповідного металу у ґрунті, мг/кг; x - співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$, y - гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту; з поширенням використання алгоритму способу на ґрунти інших типів.

UA 95649 U

Корисна модель належить до способів прогнозування вмісту рухомих форм хімічних елементів (важких металів (ВМ), мікроелементів (МЕ)) і ремедіації ґрунтової системи за техногенного забруднення та технологічного навантаження.

Спосіб може знайти застосування в агроекології за вирішення питань діагностики, оцінювання, прогнозування статусу МЕ та небезпеки надлишкового накопичення ВМ у ґрунтах; у тому числі і техногенно забруднених, для розробки способів ремедіації забруднених територій як складових комплексу методів екологічної ремедіації техногенно забруднених ґрунтів, і, як наслідок, для зниження техногенного і технологічного навантаження на ґрунти різного генезису, інтенсивності процесів їх деградації і для відновлення властивостей.

Відомо спосіб визначення вмісту у ґрунті доступних біофільних елементів для підвищення точності прогнозу потреби ґрунтів у елементах живлення [Пат. RU №2050544 Способ определения доступных для минерализации биофильных элементов почвы и степени их доступности]. Спосіб включає визначення загального вмісту біофільного елемента у ґрунті, інкубацію зразка в закритій капсулі за 85 ± 3 °C і вологості 40-100 % повної вологоємності із внесенням асоціативної культури термофільних мікроорганізмів у кількості 0,15-1,0 млрд./г ґрунту; вимірювання по завершенні процесу мінералізації доступного біофільного елемента, а також вмісту його малорухомої форми і визначення ступеня рухомості для прогнозування. Мета досягається за рахунок прискорення процесу мінералізації, утворення більшої кількості малодоступних форм біофільних елементів за рахунок руйнування ґрунтово-поглинального комплексу (ГПК). Недоліком способу є відсутність показників точності прогнозних оцінок, трудомісткість та ресурсовитратність його реалізації.

Відомо інший спосіб прогнозування змін вмісту рухомих Zn і Cu у ґрунті [Пат. UA № 58720 Спосіб прогнозування змін вмісту рухомих форм цинку і міді у зрошуваному темно-каштановому ґрунті при систематичному внесенні мінеральних добрив], який передбачає внесення мінеральних добрив, відбір зразків ґрунту, визначення стандартними методами вмісту рухомих форм азоту та фосфору та розрахунок, на основі математичних моделей і встановленого тісного кореляційного зв'язку, співвідношення мінерального азоту до рухомого фосфору з подальшим визначанням прогнозованого вмісту рухомих форм цинку та міді у ґрунті за регресійними рівняннями: для Zn - $Y = 1,6677X^{-0,1387}$; для Cu - $Y = -0,0038 \times 0,0719X^2 - 0,0314$, де Y - прогнозований (розрахунковий) вміст рухомих цинку або міді, мг/кг ґрунту; X - співвідношення мінерального азоту ($N-NO_3+N-NH_4$) до рухомого фосфору (P_2O_5).

До недоліків способу слід віднести обмеженість його застосування лише на зрошуваному темно-каштановому ґрунті за умов систематичного внесення мінеральних добрив; неможливість прогнозування вмісту інших МЕ у ґрунтах, окрім Zn та Cu. До того ж, систематичне внесення мінеральних добрив (азотні, фосфорні і комплексні добрива, сульфатні форми калійних добрив), що є фізіологічно кислими, призводить до збільшення рухомості металів-токсикантів у ґрунті та їх міграції у суміжні з ґрунтом середовища [Фатєєв А.І., Самохвалова В.Л. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі. - Харків: КП "Міська Друкарня", 2012. - 70 с.], також негативно впливає і на органічну речовину ґрунту, посилюючи рухомість органічних сполук, їх мінералізацію і деструкцію, викликає спрощення їх структури на ґрунтах різного генезису, особливо втрати органічних речовин зростають в умовах ґрунтоутворення з ознаками підзолистого типу (світло-сірі, сірі, темно-сірі ґрунти, чорноземи опідзолені) чим сприяє погіршенню якості гумусу. За таких умов необхідним є застосування органічної та/або органо-мінеральної систем удобрення у максимальній відповідності до ґрунтово-кліматичних умов певного регіону й вимог ресурсозбереження та екологічної безпеки. Все вище перелічене не ураховано у способі, що значно знижує функціональну можливість і ефективність його використання.

Найбільш близьким за механізмом реалізації і результатом, що досягається, є спосіб прогнозування забезпеченості ґрунтів МЕ за математичними моделями [Пат. UA № 89939 Спосіб прогнозування забезпеченості ґрунтів мікроелементами]. Спосіб включає відбір зразків, їх аналізування. У зразках визначають середній вміст вуглецю гумінових ($C_{ГК}$) і фульвокислот ($C_{ФК}$) та їх співвідношення. На основі статистико-математичного аналізу, одержують регресійні рівняння, за якими визначають прогнозований вміст МЕ (ВМ) у ґрунті.

Недоліками запропонованого способу є обмеженість його використання за визначання прогнозованого вмісту рухомих форм МЕ/ВМ, як за оцінювання рівня забезпеченості ґрунтів МЕ так і небезпеки надлишкового накопичення ВМ у ґрунтах, внаслідок впливу на співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$ неконтрольованого вмісту рухомих форм МЕ/ВМ у ґрунтах різних буферних властивостей (результат високої природної просторової варіабельності, що значно підвищується за умов забруднення ВМ (техногенне навантаження), внесення органічних і мінеральних добрив (технологічне навантаження) та різної кислотності ґрунтів в залежності від

напряму і розвитку ґрунтоутворювальних процесів в окремих типах і відмінах ґрунтів, їх гранулометричного складу). Отже збільшення рухомості ВМ та органічної речовини ґрунту за одночасного дисбалансу вмісту гумінових та фульвокислот (їх вміст то зменшується, то збільшується), зменшення рухомості МЕ, унеможливорює коректне використання співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$ для вирішення задачі прогнозування вмісту МЕ і ВМ у ґрунтах. Саме тому необхідним є проведення додаткових досліджень і урахування даних щодо інших показників властивостей ґрунтів, насамперед гідролітичної загальної кислотності ґрунту (ураховує актуальну і обмінну кислотність), що впливає на співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$ і визначає рухомість МЕ/ВМ і, відповідно, рівень забезпеченості ґрунтів МЕ та небезпеки забруднення ВМ за таких умов. Таким чином, все вище перелічене призводить до вагомого зниження ефективності прогнозування вмісту ВМ/МЕ за одночасного збільшення трудомісткості і ресурсовитратності реалізації способу.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалення відомого способу прогнозування вмісту рухомих форм ВМ і МЕ у ґрунтовій системі для ефективної ремедіації та використання за рахунок розширення спектру інформативних показників, що надає можливість підвищити точність та експресність прогнозування вмісту хімічних елементів у ґрунтах різного генезису, з одночасним збільшенням ремедіаційної здатності ґрунту певного типу.

Поставлена задача досягається тим, що у відомому способі прогнозування вмісту рухомих форм ВМ та МЕ у ґрунтовій системі для ефективної ремедіації та використання, який включає відбір зразків, їх аналізування та прогнозування вмісту МЕ у ґрунті за математичними моделями, що ураховують встановлені залежності співвідношення вмісту вуглецю гумінових ($C_{ГК}$) і фульвокислот ($C_{ФК}$) з МЕ ґрунту, згідно з винахідницьким задумом, додатково визначають показник гідролітичної кислотності ґрунту (H_r) у ґрунтових зразках із застосуванням органо-мінеральної та/або мінеральної та/або органічної систем удобрення і/або за техногенного забруднення ВМ та, на основі отриманих математичних моделей і встановлених залежностей діагностичних показників, визначають прогнозований вміст рухомих форм МЕ (ВМ) у ґрунті, наприклад, для темно-сірого ґрунту вміст Pb(1), Cd(2), Ni(3), Zn(4):

$$Z_{Pb} = 0,15 - 0,27x + 0,40y \quad (r = 0,71; R^2 = 0,50; F(2,9) = 4,36), \quad (1)$$

$$Z_{Cd} = 0,24 - 0,15x + 0,012y \quad (r = 0,62; R^2 = 0,45; F(2,9) = 2,8), \quad (2)$$

$$Z_{Ni} = -1,1 + 0,61x + 0,5y \quad (r = 0,97; R^2 = 0,94; F(2,9) = 78,5), \quad (3)$$

$$Z_{Zn} = -9,02 + 3,45x + 1,95y \quad (r = 0,86; R^2 = 0,75; F(2,9) = 13,37), \quad (4)$$

де Z_{Pb} , Z_{Cd} , Z_{Ni} , Z_{Zn} - прогнозований (розрахунковий) вміст рухомих сполук відповідного металу у ґрунті, мг/кг;

x - співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$,

y - гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту;

з поширенням використання алгоритму способу на ґрунти інших типів.

Встановлені прогнозовані рівні вмісту рухомих форм МЕ (ВМ) у ґрунтах використовують для ефективної ремедіації ґрунтів - зниження техногенного, технологічного навантаження із застосуванням заходів відтворення родючості ґрунтів, одночасної можливості вирішення зворотної задачі розрахунку кількісних параметрів одного показника на підставі кореляційно пов'язаних з ним відомих інших, наприклад, необхідних доз ґрунтополіпшувачів для ґрунту певного типу на підставі відомого показника гідролітичної кислотності (H_r) і/або вмісту МЕ і ВМ і/або показника $C_{ГК}/C_{ФК}$ у ґрунті.

За проведення довгострокових польових досліджень (Лопушняк В.І., 2013) щодо впливу рівнів технологічного навантаження ґрунту за застосування мінеральних, органічних та органо-мінеральних систем удобрення на закономірності зміни вмісту гумусу та основні закономірності трансформації гумусових сполук у ґрунті та показники вмісту МЕ і ВМ у ґрунті, встановлено закономірності позитивного впливу органо-мінеральної і органічної систем удобрення на характер трансформації у ґрунті органічних речовин, динаміку вмісту гумусу та його якісний стан. Встановлено, що застосування гною, соломи й сидерату в поєднанні з унормованою кількістю мінеральних добрив, на відміну від суто мінеральної системи удобрення, не призводить до розвитку деградаційних процесів у ґрунті (відсутнє зростання ґрунтовтоми, підкислення ґрунтового середовища, руйнації агрономічно цінних ґрунтових агрегатів, підвищення щільності будови ґрунту, погіршення його шпаруватості, водно-повітряного режиму тощо), дозволяє досягти розширеного відтворення родючості, наприклад, темно-сірого ґрунту за 12 років інтенсивного с.-г. використання. Окрім того, за розробки ефективної системи удобрення необхідним заходом є оцінка її забруднюючого впливу насамперед на екологічний стан ґрунту.

За проведення ґрунтово-геохімічних досліджень у різних природно-кліматичних зонах (Самохвалова В.Л., Фатеев А.І., Лучникова Є.В., 2011; Самохвалова В.Л., Фатеев А.І., Лучникова Є.В., Ликова О.А., 2012) та зонах техногенного навантаження на чорноземі опідзоленому, чорноземі звичайному та чорноземі типовому нами доведено ефективність використання

органо-мінеральних комбінацій ґрунтополіпшувачів, наприклад комбінації суміші гумату натрію з суперфосфатом, вапном або з органічною речовиною відповідно до характеру та виду забруднення ґрунту ВМ, що являє собою природний адаптоген з регуляторними властивостями (Самохвалова В.Л., Фатеев А.І., Зуза С.Г., Зуза В.О., 2013), сульфату заліза та біогумусу в якості активатору самоочищення ґрунту і ґрунтополіпшувача пролонгованої дії за поліелементного забруднення ґрунту переважно Cd, Pb, Cr, Zn відповідно до рівня його забруднення (Самохвалова В.Л., Фатеев А.І., Зуза С.Г., Зуза В.О., Горякіна В.М., 2014) та мінеральної системи ґрунтополіпшувачів у складі сполук сульфату заліза (II), фосфорних і азотних мінеральних добрив, відповідно за помірного та небезпечного рівнів забруднення ґрунту Cd, Zn і Cu (Самохвалова В.Л., Погромська Я.А., Фатеев А.І., Зуза С.Г., Зуза В.О., 2014).

Узагальненням отриманих результатів щодо технологічного та техногенного навантаження на ґрунт встановлено, що ефективність прогнозу вмісту МЕ і ВМ у ґрунті підвищується саме за додаткового використання показників гідролітичної кислотності (H_r) та співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$ у ґрунті, застосування орґано-мінеральної системи удобрення та комбінування ґрунтополіпшувачів різної природи за умов техногенного забруднення ґрунту ВМ і алгоритму, що пропонується у заявленому способі, чим забезпечується технічний результат - інтенсифікація процесу прогнозування та підвищення його точності.

Приклад здійснення способу. Польові дослідження щодо технологічного навантаження проводили в умовах стаціонарного досліду кафедри ґрунтознавства, землеробства та агрохімії Львівського НАУ Західного Лісостепу України з вивчення ефективності впливу орґано-мінеральної, органічної та мінеральної систем удобрення у відомій ефективній кількості співвідношення комбінації ґрунтополіпшувачів на іммобілізацію рухомих форм ВМ та активацію МЕ у ґрунтах із відбором ґрунтових зразків та встановленням закономірностей змін вмісту МЕ та ВМ (Cd, Pb) та динаміки гумусного стану і трансформації органічної речовини у ґрунті польової сівозміни із певним чергуванням культур.

Застосовували мінеральну, органічну та орґано-мінеральну системи удобрення (табл. 1), які було збалансовано за внесенням основних елементів живлення, а внесення органічних і мінеральних добрив оптимальними дозами проводять за використання чинних методичних рекомендацій [Довідник агронома по удобренню // За ред. П.А. Власюка, П.О. Дмитренка - Київ: Держсільгоспвидав, 1962. - 680 с] відповідно до типу ґрунту і природно-кліматичних умов певної зони [Добрива та їх використання: Довідник. - К.: Арістей, 2010. - 254 с].

Ґрунтово-геохімічні дослідження щодо техногенного навантаження ВМ на ґрунт проводили за умов сталого впливу джерел поліелементного забруднення Зміївської ТЕС ПАТ "Центренерго" НАК "Енергетична компанія України" Харківської області, ВАТ "Укрцинк" і ВАТ "Авдіївський коксохімічний завод" Донецької області природно-кліматичних зон Лісостепу і Степу України.

Далі відбирають зразки ґрунту згідно з ДСТУ 4287:2004 з орного (0-20 см) та підорного (20-40 см) шарів. У зразках ґрунту за лабораторних досліджень методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії відповідно до чинних методик згідно з ДСТУ 4770.1:2007 - ДСТУ 4770.9:2007 проводять визначення рухомих форм МЕ і ВМ (що екстрагуються амонійно-ацетатним буфером ААБ рН 4,8), загального вмісту органічної речовини в ґрунтах - за методом Тюріна відповідно до ДСТУ 4289:2004; фракційно-груповий склад гумусу (вуглецю гумінових і фульвокислот) - за методом Конової-Бельчикової згідно з МВВ 31-497058-006-2002; гідролітичну кислотність ґрунту - визначають за методом Каппена згідно з ГОСТ 26212-91.

На підставі отриманих даних, згідно з діючими нормативами і методичною базою, використовуючи встановлені фонові рівні вмісту МЕ (ВМ) для ґрунтів певної природно-кліматичної зони України [Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт-рослина / За ред. Фатеева А.І., Самохвалової В.Л. - Харків: КП "Міська Друкарня", 2012. - 146 с] здійснюють оцінювання екологічного стану та мікроелементного статусу ґрунтів.

Отриману аналітичну інформацію статистично обробляють із використанням модулів кореляційного, дисперсійного та регресійного аналізів у рамках пакета Statistica 10.0, включаючи розрахунки за рівняннями лінійної, ступеневої і логарифмічної регресії. Для якісної оцінки тісноти зв'язку використовують множинний коефіцієнт детермінації за шкалою Чеддока: 0,3-0,3 - незначний зв'язок; 0,3-0,5 - помірний; 0,5-0,7 - істотний; 0,7-0,9 - високий; 0,9-0,99 - дуже високий; 1,0 - функціональний. На підставі чого за результатами інформаційно-аналітичних досліджень встановлюють існуючі у ґрунтовій системі залежності гідролітичної кислотності ґрунту, співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$ (табл. 1-2, фіг. 1-2) і вмісту МЕ/ВМ у ґрунті та істотні відмінності між вибірками даних, оцінюють ефективність впливу фактору техногенного забруднення ВМ та/або технологічного навантаження за запропонованих систем удобрення і доводять достовірність їх впливу на результативну ознаку (вміст МЕ /ВМ у ґрунті) з одержанням

відповідних рівнянь залежностей (моделі), на базі яких розраховують прогнозовані значення вмісту рухомих форм МЕ та/або ВМ, наприклад, Pb (1), Cd (2), Ni (3), Zn (4) у ґрунті за одночасної візуалізації встановлених закономірностей зв'язку діагностичних показників властивостей ґрунту на діаграмах (фіг. 2) та у форматі відповідних рівнянь (1-4), які формують у таблиці.

5

Таблиця 1

Варіант	Σ ГК	Σ ФК	$C_{ГК}/C_{ФК}$
1. Без добрив (контроль)	34,7 100	34,5 100	1,01
2. Мінеральна система удобрення $N_{390}P_{210}K_{430}$	35,1 100	34,2 100	1,03
3. Органо-мінеральна система удобрення: 20 т/га гній +5 т/га солома + $N_{270}P_{153}K_{260}$	37,4 100	30,6 100	1,22
4. Органо-мінеральна система удобрення: 30 т/га гній + 15 т/га сидерат + 5 т/га солома + $N_{100}P_{110}K_{2173}$	38,5 100	29,1 100	1,32
5. Органо-мінеральна система удобрення: 40 т/га гній + 15 т/га сидерат + 5 т/га солома + $N_{50}P_{85}K_{113}$	39,0 100	28,6 100	1,36
6. Органічна система удобрення: 50 т/га гній + 15 т/га сидерат + 5 т/га солома + $N_{25}P_{60}K_{60}$	39,3 100	28,4 100	1,38

Примітка. Над ризикою - відсоток від загального вуглецю; під ризикою - відсоток фракції від суми ГК або ФК у шарі ґрунту 0-20 см.

Таблиця 2

ґрунти	$C_{ГК}$	$C_{ФК}$	$C_{ГК}/C_{ФК}$
Дерново-підзолистий (контроль)	0,17	0,2	0,85
Дерново-підзолистий (забруднений ВМ)	0,16	0,28	0,57
Чорнозем опідзолений (контроль)	0,84	0,39	2,1
Чорнозем опідзолений (забруднений ВМ)	0,80	0,41	1,95
Чорнозем звичайний (контроль)	0,96	0,38	2,5
Чорнозем звичайний (забруднений ВМ)	0,93	0,42	2,21

Далі поширюючи алгоритм способу на інші типи ґрунтів, так само, проводять розрахунки з одержанням відповідних рівнянь залежностей за якими визначають прогнозовані значення вмісту МЕ/ВМ у ґрунтах, як за умов відсутності технологічного і техногенного навантаження на ґрунт так і за умов їх впливу (табл. 3).

Таким чином, наприклад, встановлені лінійні залежності вмісту рухомих форм ВМ та співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$ і гідролітичної кислотності ґрунту характеризують наступні рівняння:

$$Pb = 0,15 - 0,27x + 0,40y \quad (r = 0,71; R^2 = 0,50; F(2,9) = 4,4), (1)$$

$$Cd = 0,24 - 0,15x + 0,012y \quad (r = 0,62; R^2 = 0,45; F(2,9) = 2,8), (2)$$

$$Ni = -1,1 + 0,61x + 0,5y \quad (r = 0,97; R^2 = 0,94; F(2,9) = 78,5), (3)$$

$$Zn = -9,02 + 3,45x + 1,95y \quad (r = 0,86; R^2 = 0,75; F(2,9) = 13,4), (4)$$

де Pb, Cd, Ni, Zn - прогнозований вміст рухомих сполук відповідного металу у ґрунті, мг/кг;

x - співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$,

y - гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту.

Окрім того, запропонований алгоритм способу дозволяє підтвердити доцільність використання показника гідролітичної кислотності ґрунту на підставі встановлених закономірностей щодо вмісту гумусу у ґрунті зі зростанням у його складі фракції ГК-2 і зменшенням рухомої фракції ГК-1, яка містить обмінні катіони водню карбоксильних груп [Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. - М.: Изд-во МГУ, 1990. - 325 с], що формують кислотність ґрунту, зокрема гідролітичну, за умов різних рівнів навантажень на ґрунтову систему, що доведено відповідним рівнянням:

$$Hr = 15,14 + 0,54x - 1,0008y \quad (R = 0,96; R^2 = 0,92; F(2,9) = 53,68), (5)$$

де Hr - гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту;

x - гумінові кислоти фракції 1, ГК-1; % від C_{3ar} ,

y - гумінові кислоти фракції 2, ГК-2; % від C_{3ar} .

Одночасно, доцільність використання показника співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$ ґрунту доведено його діагностичною ефективністю індикації спрямованості процесів мінералізації органічної речовини та якості гумусового стану ґрунту. Так, визначання показника $C_{ГК}/C_{ФК}$ дозволило встановити гуматно-фульватний тип гумусу темно-сірого ґрунту на підставі зміщення співвідношення у бік ГК (фіг. 1, табл. 1, вар. 3-6) з найкращим співвідношенням підвищення гуматності гумусу. Однак, за умов техногенного навантаження ВМ на ґрунт встановлено, що його забруднення не змінює тип гумусу ґрунту, який відповідає біокліматичним умовам його формування, проте впливає на скорочення групи $C_{ГК}$ та розширення групи $C_{ФК}$ у складі гумусу (табл. 2), що свідчить про ризик збільшення рухомості МЕ /ВМ за впливу забруднення ґрунту та їх транслокації до рослин і міграції у суміжні з ґрунтом середовища.

Таблиця 3

Вид навантажень та типи ґрунту	Прогнозований / фактичний* вміст рухомих форм МЕ та ВМ у ґрунті, мг/кг ґрунту			
	Pb	Cd	Ni	Zn
За відсутності навантажень на ґрунт				
Дерново-підзолистий	2,5/2,65*	0,1 /0,11*	0,19/0,21*	0,6/0,78*
Світло-сірий	1,5/1,84*	0,1/0,08*	0,5/0,56	0,5/0,58*
Сірий лісовий	2,1 /2,15*	0,1/0,13*	0,5/0,56	1,8/1,92*
Темно-сірий опідзолений	1,1/1,1*	0,1/0,09*	1/0,9*	1/1,06*
Чорнозем опідзолений	1,9/2,04*	0,1/0,13*	0,7/0,62*	1/1,22*
Чорнозем типовий	2/2,2*	0,1/0,2*	0,5/0,45*	1,6/1,75*
Чорнозем звичайний	2,5/2,73*	0,1/0,18*	0,6/0,66*	1,8/1,82*
За впливу органо-мінеральної системи удобрення (технологічне навантаження)				
Темно-сірий опідзолений	0,92/0,9*	0,07/0,07*	0,8/0,7*	1,25/1,2*
За впливу забруднення ВМ (техногенне навантаження)				
Чорнозем опідзолений	6/6,9*	1,5/1,2*	4/3,8*	4/4,3*

Завдяки запропонованому способу отримуємо можливість збільшити прогнозованість мікроелементного статусу та якості групового складу гумусу ґрунту певного типу за природних умов і впливу технологічного та техногенного навантажень, з одночасним зниженням рухомості ВМ у ґрунті (фіг. 3) та ефективної його ремедіації і відновлення природних властивостей, що показує зниження вмісту рухомих сполук Cd від 0,17 до 0,06 мг/кг ґрунту, Pb - від 1,75 до 0,65 мг/кг ґрунту та інших металів в орному (0-20 см) і підорному (20-40 см) шарах ґрунту, зниження показника гідролітичної кислотності і зростання частки гумінових кислот у гумусі (фіг. 2, табл. 1), як результат застосування системи ґрунтополіпшувачів різної природи у ефективній кількості співвідношення їх комбінації.

Отже, реалізація запропонованого алгоритму забезпечує одночасне усунення негативних наслідків технологічного навантаження і техногенного забруднення ВМ на ґрунтову систему та, як наслідок, регулювання групового складу гумусу ґрунту як критерію визначення його якості, а саме: на високобуферних ґрунтах - залучення заходів щодо підтримки умов гуміфікації, близької до нейтральної реакції ґрунтового середовища, регуляції окисно-відновного режиму, застосування сидератів; на малобуферних ґрунтах - забезпечення надходження у ґрунт органічної речовини як джерела лабільного гумусу, підтримка слабо кислої та близької до нейтральної реакції ґрунтового середовища для забезпечення утворення активних ГК (гумінових кислот), що сприяє покращенню гумусного стану ґрунту за одночасної більшої прогнозованості мікроелементного статусу та екологічного стану ґрунту.

Відмітними рисами та перевагами запропонованого технічного рішення у порівнянні з відомими способами та підходами, є наступні:

експресність отримання та підвищення точності прогнозованих значень вмісту МЕ та ВМ у ґрунтах;

універсальність завдяки придатності способу для всіх типів ґрунтів різних природно-кліматичних зон.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб прогнозування вмісту рухомих форм важких металів та мікроелементів у ґрунтовій системі для ефективної ремедіації і використання, який включає відбір зразків, їх аналізування та прогнозування вмісту мікроелементів (МЕ) у ґрунті за математичними моделями, що

ураховують встановлені залежності співвідношення вмісту вуглецю гумінових ($C_{ГК}$) і фульвокислот ($C_{ФК}$) з МЕ ґрунту, який **відрізняється** тим, що додатково визначають показник гідролітичної кислотності ґрунту (H_r) у ґрунтових зразках із застосуванням органо-мінеральної та/або мінеральної, та/або органічної систем удобрення і, за техногенного забруднення важкими

5

металами (ВМ) та на основі отриманих математичних моделей і встановлених залежностей діагностичних показників, визначають прогнозований вміст рухомих форм МЕ (ВМ) у ґрунті,

наприклад для темно-сірого ґрунту вміст Pb (1), Cd (2), Ni (3), Zn (4):

$$Z_{Pb} = 0,15 - 0,27x + 0,40y \quad (r = 0,71; R^2 = 0,50; F(2,9) = 4,36), (1)$$

$$Z_{Cd} = 0,24 - 0,15x + 0,012y \quad (r = 0,62; R^2 = 0,45; F(2,9) = 2,8), (2)$$

10

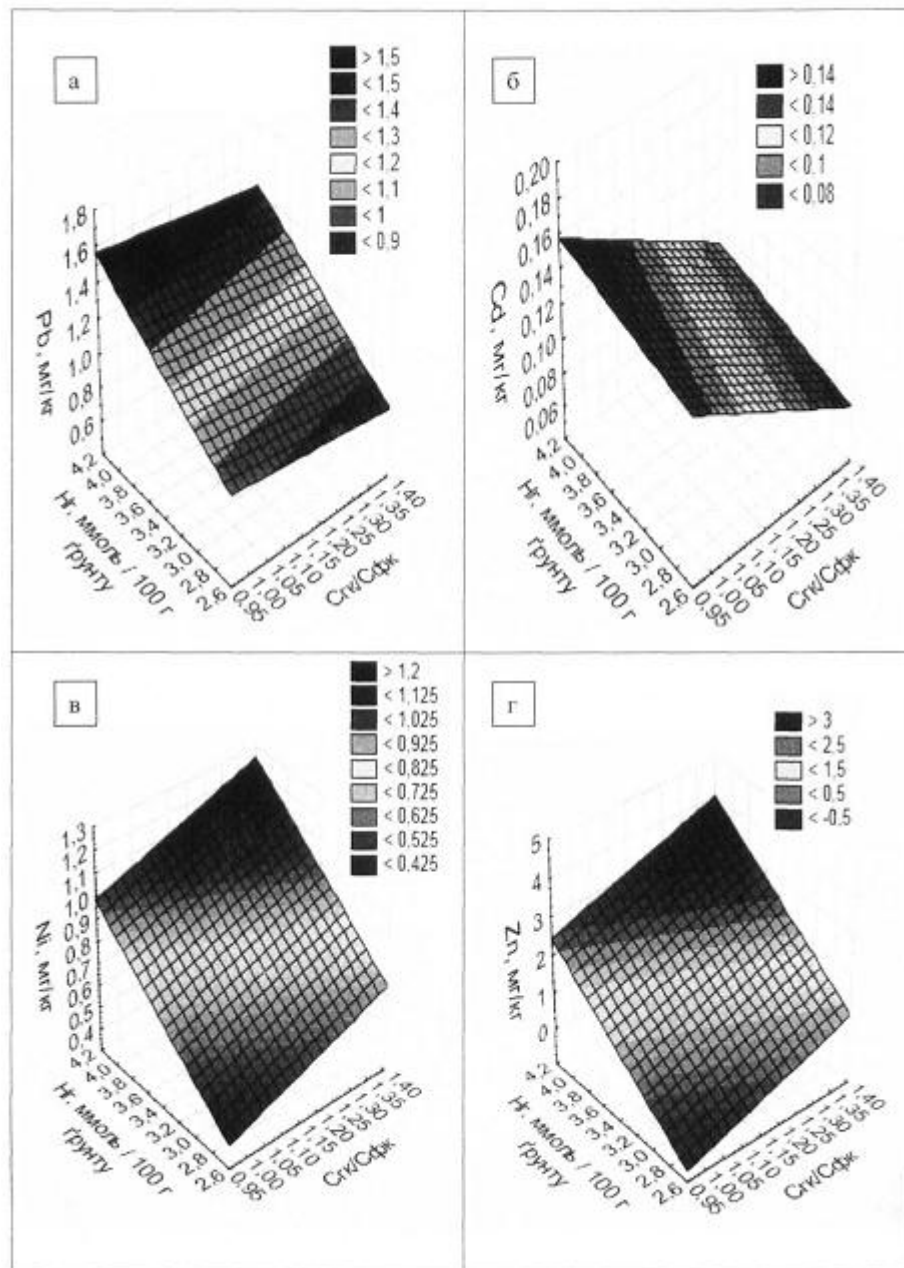
$$Z_{Ni} = -1,1 + 0,61x + 0,5y \quad (r = 0,97; R^2 = 0,94; F(2,9) = 78,5), (3)$$

$$Z_{Zn} = -9,02 + 3,45x + 1,95y \quad (r = 0,86; R^2 = 0,75; F(2,9) = 13,37), (4)$$

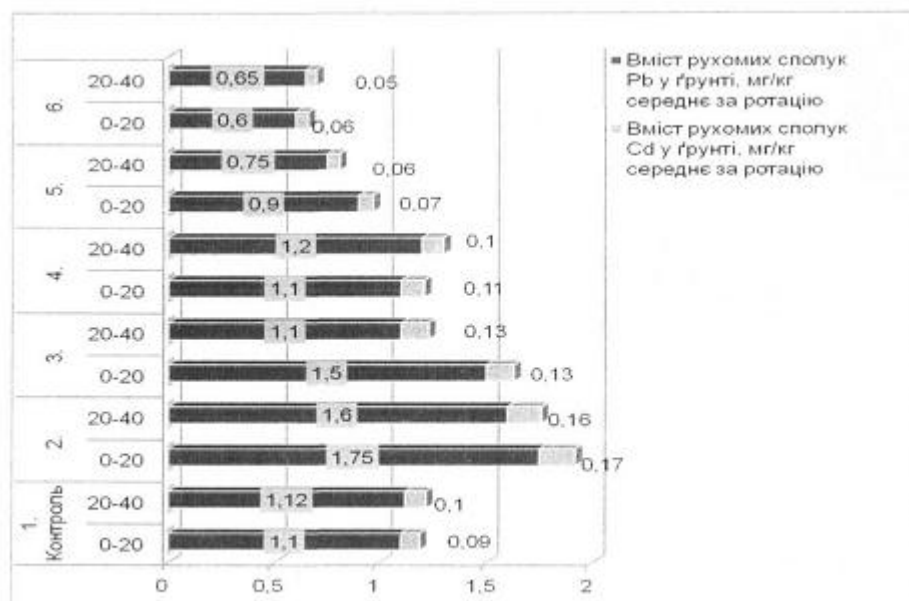
де Z_{Pb} , Z_{Cd} , Z_{Ni} , Z_{Zn} - прогнозований (розрахунковий) вміст рухомих сполук відповідного металу у ґрунті, мг/кг; x - співвідношення $C_{ГК}/C_{ФК}$, y - гідролітична кислотність, ммоль/100 г ґрунту; з поширенням використання алгоритму способу на ґрунти інших типів.



Фіг. 1



Фиг. 2



Фіг. 3

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601