

УДК 631.445.4:631.15; 504.53.06: 504.054. 272

## ВИКОРИСТАННЯ АНТИДОТІВ ЗА ЗАБРУДНЕННЯ СИСТЕМИ ҐРУНТ–РОСЛИНА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

### Повідомлення 6. Спосіб детоксикації важких металів.

В.Л. Самохвалова

*Використання антидотів за забруднення системи ґрунт–рослина важкими металами. Повідомлення 6. Спосіб детоксикації важких металів. – В.Л. Самохвалова. – Надано аналіз патентів, щодо інактивзації забруднювачів. Представлено новий розроблений спосіб детоксикації важких металів в біокосній та біологічній системах, що дозволяє знизити ступінь забруднення, токсичність металів. Спосіб включає використання явищ геохімічного та біохімічного антагонізму катіонів в системі ґрунт – рослина, внесення інактиваторів різної природи, що дозволяє проводити ефективну детоксикацію забрудненого Cd, Pb, Ni, Cr ґрунту, є ефективним за проведення комплексу технологічних, фізико-хімічних і біологічних заходів щодо санації забруднених ґрунтів та земель, для зниження інтенсивності процесів деградації ґрунтів за дії фактору техногенного навантаження.*

**Ключові слова:** система ґрунт - рослина, забруднення, важкі метали, детоксикація.

**Адреса:** ННЦ «ІГА ім. О.Н. Соколовського», лабораторія охорони ґрунтів від техногенних забруднень, вул. Чайковського, 4, м. Харків, 61024, Україна; тел.: +380(572)704-16-67;

E-mail: [v.samokhvalova@ua.fm](mailto:v.samokhvalova@ua.fm) (дом.); [pochva@online.kharkiv.net](mailto:pochva@online.kharkiv.net) (роб.)

*Application of antipillboxes by heavy metals pollution of soil – plant system. The message 6. The way of heavy metals decontamination. – Samokhvalova V.L. – The analysis of the patents concerning contaminants inactivation is given. The new way of heavy metals detoxication in bioinert and biological systems is submitted which allows to lower a degree of pollution, toxicity of heavy metals. The way includes using of the phenomena geochemical and biochemical antagonism cautions in system soil - plant, entering the toxicity inactivates of a different nature, that allows to carry out the effective detoxication of polluted Cd, Pb, Ni, Cr soils. Is effective at realization of a complex of technological, physical-chemical, biological measures decontamination polluted soils and grounds, for decrease of soil degradation processes intensity at action of the technogenic pressure factor.*

**Key words:** soil- plant system, pollutions, heavy metals, and decontamination.

**Address:** NSC "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky", department for soil preservation from technogenic pollution, Chajkovsky str., 4, Kharkiv, 61024, Ukraine; tel.: +380 (572) 704-16-67,

E-mail: [v.samokhvalova@mail.ru](mailto:v.samokhvalova@mail.ru) (home.); [pochva@online.kharkiv.net](mailto:pochva@online.kharkiv.net) (work.)

Небезпека забруднення ґрунтів важкими металами (ВМ) визначається роллю забрудненого хімічними речовинами ґрунту як джерела вторинного забруднення приземного шару атмосферного повітря так і токсичного середовища за безпосередньої дії на людину. Попередження небезпеки забруднених ґрунтів та земель в містах, інших населених пунктах, забезпечується або збором та вивозом забруднених ґрунтів з наступним укладанням привезених, екологічно чистих їх аналогів, або проведенням комплексу технологічних, фізико-хімічних, біологічних заходів щодо санації забруднених ґрунтів [18,19].

Аналіз та ранжування всіх відомих сучасних способів детоксикації ВМ у системі ґрунт – рослина дозволяє визначити заходи щодо зниження

ефекту забруднення. В комплекс заходів по ліквідації уже існуючого забруднення ВМ залучаються різні способи, які направлені на інактивізацію їх токсичності. Серед існуючих способів детоксикації ВМ, що запатентовано в останні роки, заслуговують на увагу внесення органічних, кальцій - і фосфоровмісних сполук використання спеціального складу суміші “Сорбекс”, яка містить сапропель, цеоліт, глинозем у певному співвідношенні [20], використання карбонатного сапропелю [15], природного клиноптилоліту [16]. Також відомо спосіб детоксикації ВМ який включає використання водорозчинних гумінових кислот (ГК), що зв'язують ВМ з утворенням водонерозчинних сполук [24]. Проте вихідні ГК мають малу активність як наслідок низької гідратованості і диспер-

ності, блокування їх активних центрів різними компонентами вимагає включення додаткового етапу отримання водорозчинних ГК, який значно ускладнює та збільшує вартість проведення робіт щодо детоксикації ВМ.

Відомий спосіб очистки та дезактивації [22] передбачає використання електроремедіації з метою підвищення ступеня очистки ґрунту, збереження його фізико-хімічних властивостей. А в технології електроосмотичної очистки ґрунтів від ВМ використовується пристрій для очистки капілярно-пористого середовища від забруднень [8].

В розробленому кондиціонері ґрунту [12] в якості мінерального компоненту використана суміш з декількох Si- вмісних сполук (5-45%), що забезпечує зниження рівня забруднення ґрунту ВМ, збільшення стійкості рослин до несприятливих умов росту й розвитку.

Запропоновано також спосіб очистки гетерогенного матеріалу від забруднень за допомогою сорбційного агента [4], який передбачає видалення забруднення ВМ шляхом додавання сорбційного агента з подальшим його відділенням від матеріалу на базі використання різниці у щільності.

Іншими відомими способами детоксикації ВМ є використання нейтралізованого білого шламу – продукту, отриманому за глиноземного виробництва, у дозі 30-150 т/га [1], використання карбонату та сульфідів калію, які утворюють з ВМ нерозчинні сполуки [10], добрива – меліоранта трепелу, який містить карбонати кальцію і магнію (15-65 % та 2% відповідно) [5].

Розроблено біопрепарат на основі гумінових сполук [25] з метою його використання для зниження ступеня забруднення, токсичності лісових, сільськогосподарських ґрунтів з відновленням біоти. Доведено його високу ефективність за техногенних аварій, нейтралізації, профілактики забруднення та підвищення вмісту гумусу у ґрунті.

Іншим розробленим цікавим способом є використання біологічної активації природних цеолітів [13] з метою підвищення ефективності морденіт-вмісних туфів шляхом їх насичення фосфатомобілізуючими мікроорганізмами для підвищення біологічної активності, трофічного режиму ґрунтів, продуктивності культур агроценозів.

Відомо спосіб ізоляції об'ємних ділянок ґрунту [9] шляхом використання ущільнюючих матеріалів, із застосування яких, за допомогою буріння прокладають шпарину. Цікавим є також розроблений спосіб ліквідації забруднення ґрунту органічними сполуками [11], який містить ізолювання забрудненої території, збір та видалення забруднювача, біогенну очистку ґрунту.

Запропоновано новий спосіб та прилад для видалення екологічно небезпечних речовин від забрудненої маси [21], що включає стадії додавання розчину гідроксидів Ca, Na, K до забрудненої маси, яка піддається диспергації та утримується однорідна суміш. Далі проводиться центрифугуван-

ня або пресування, самодренування однорідної суміші, екологічно небезпечні речовини (суха маса) видаляються. Проводять фільтрацію рідини, яка містить забруднюючі речовини, контамінанти залишаються на фільтрах.

Іншим відомим способом очищення ґрунтів від ВМ [14] є спосіб, що передбачає видалення забрудненого шару ґрунту, відділення великих сторонніх домішок та біомаси, подрібнення забрудненого шару до водотривких агрегатів, диспергацію у водному середовищі з отриманням пульпи, яку обробляють ультразвуком з метою руйнації водотривких агрегатів. Далі проводять фракціонування з отриманням очищеної крупнодисперсної мінеральної та органічної фракцій, злив забрудненої мілкодисперсної мінеральної, органічної та органічної фракцій з подальшим їх осадженням, переробкою або похованням.

Однак, при виборі способу детоксикації, в кожному конкретному випадку, слід виходити з специфіки забруднення, властивостей ґрунту, враховуючи при цьому, що застосування, наприклад, вапна дає ефект тільки на ґрунтах з кислотою реакцією ґрунтового розчину, за умов високобуферних ґрунтів при підвищенні рН >7,5 сприяє утворенню рухомих і надзвичайно токсичних сполук хрому, які слабо сорбуються. Вапно та фосфорні сполуки, що знижують надходження в рослини металів-токсикантів, ускладнюють надходження необхідних рослинам елементів - Cu, Zn, Mn, Fe, і викликають їх дефіцит. Органічні сполуки іммобілізують ВМ, але разом з тим специфічно адсорбують Cu. Тому за меліорації забруднених ґрунтів поряд з внесенням детоксикантів необхідно проводити позакореневе підживлення мікроелементами. В зазначених способах такий прийом відсутній, що в певній мірі, порушує збалансованість елементів живлення на ґрунтах, забруднених ВМ, яку можливо досягти тільки за диференційованого застосування меліорантів з урахуванням складу забруднювачів, особливостей властивостей ґрунту, видових особливостей рослин. Окрім того, забруднені ґрунти депонують, як правило, на полігонах поховання твердих побутових і промислових відходів. Екологічно чисті ґрунти доставляють з місць їх природного розповсюдження, або привозять у вигляді ґрунтових субстратів з торфу, компостів, піску, глини і т.і. Все це призводить до великих фінансових витрат і, у зростаючій кількості випадків, є економічно та екологічно не вигідним.

Використання фіторемедіації [26-28], яка включає фітостабілізацію (вирощування слабо реагуючих на надлишок ВМ рослин; які не використовуються для споживання людиною і на корм тваринам (технічні культури)) та фітоекстракцію (вирощування на дуже забруднених територіях дерев'янистих, декоративних рослин та для очищення ґрунту - рослин з підвищеною акумуляцією

ВМ (багаторічні трави, які утилізуються) [6], використання фітосорбентів на основі насіння гарбузів та розторопші плямистої [17], використання коренів та генеративних органів бобових рослин [7], стимуляторів росту [23], трав – біоіндикаторів та сидератів [3] обмежується значною мірою завдяки тому, що досі не встановлено однозначно детермінованих механізмів акумуляції ВМ фітоценозами та механізмів стійкості рослин до високих концентрацій ВМ в системі ґрунт - рослина.

Отже, проблема розробки заходів та способів детоксикації забруднювачів в системі ґрунт – рослина є актуальною та потребує подальшого пошуку підходів до її вирішення. Особливо необхідною є розробка способів інактивації забруднювачів в трофічних ланцюгах. Тому в основу винаходу поставлена основна мета - розробка нового способу детоксикації забрудненого ВМ ґрунту за рахунок здійснення урівноваження мікроелементного стану рослинної і ґрунтової складової, використовуючи метали-аналоги за хімічними властивостями, явищ гео – та біохімічного антагонізму разом з розробкою комбінованого комплексу інактиваторів забруднення, застосуванням принципу перетворення кризи системи у необхідну функцію, тобто використання явищ антагонізму з метою інактивації токсичності.

#### Об'єкти та методи досліджень

На першому етапі (патентні дослідження) об'єктом виступали наукові запатентовані розробки спеціалістів України та країн СНД в площині детоксикації та деконтамінації забруднювачів різної природи в системі ґрунт - рослина. Методи досліджень – експертна оцінка, аналізування, співставлення.

Другий етап досліджень включав розробку способу детоксикації забруднених ВМ ґрунтів, складався з наступних основних операцій: проведення підготовчих робіт (визначення рівня забруднення ґрунту ВМ, його якісного складу, використовуючи аналітичні методи, біологічну діагностику; доставку мікроелементів - інактиваторів токсичності на місце проведення робіт по санації ґрунтів в контейнерах; приготування розчинів металів – антагоністів і розрахунок необхідних доз інактиваторів токсичності ВМ в системі ґрунт - рослина); внесення розчинів металів - антагоністів і детоксикантів різної природи на забруднені ділянки ґрунтів шляхом поливу та механічного перемішування, внесених детоксикантів з ґрунтом; статистичну обробку отриманих результатів.

Використовувались два різних підходи створення ефективного комплексу інактиваторів ВМ в системі ґрунт – рослина. Перший – випадкове емпіричне виявлення антагонізму токсикантів в системі ґрунт - рослина. Оскільки процес розроб-

ки детоксикантів ВМ є досить трудомістким, то після виявлення геохімічних та біохімічних антагоністів проходив етап планування та проведення цілеспрямованих досліджень щодо вибору із аналогів передбачуваних інактиваторів ВМ таких, які в найбільшій мірі відповідають вимогам високої ефективності, економічної доцільності, адаптивності використання в системі ґрунт – рослина. Другий підхід у дослідженні – цілеспрямоване вивчення механізмів дії токсикантів, особливостей їх поведінки в системі ґрунт – рослина, вивчення можливостей хімічної трансформації токсичності ВМ.

Спосіб реалізується шляхом моделювання моно-та поліелементного характеру забруднення Cd, Pb, Cr, Ni на рівнях, що у 3 та 6 рази, перевищують їх фоновий вміст у чорноземі опідзоленому важкосуглинковому лісостепової зони України, внесення детоксикантів із кількісних співвідношень 10 кларків Zn, Fe для ліквідації токсичності металів – токсикантів. Такі рівні забруднення ВМ забезпечували прояв їх токсичності в системі ґрунт – рослина в польових умовах.

Досліджувалась ефективність використання детоксикантів різних за природою (гною у дозі 60 т/га, вапна із розрахунку по гідролітичній кислотності та доведення до рН ґрунту 6,9-7,2, заліза (у складі сульфату заліза та оксиду заліза (III) у дозі 180 мг/кг та 1875 мг/кг ґрунту, мінеральних добрив - N60P60K60 та N30P60K30, глауконітового піску у дозі 4 т/га, цеоліту Сокирницького родовища у дозі 300 кг/га та елементів – антагоністів (внесення сполук мікроелементів Zn, Cu, Mn, Co, B, Mo у дозах 50, 30, 150, 20, 16, 3 мг/кг та сполук макроелементів Ca, Mg у дозах 200 та 60 мг/кг відповідно) у ґрунт та обприскуванням рослин мікро – і макроелементами в фазу куціння та виходу у трубку (для зернової культури), у фазу активного росту і розвитку коренеплодів із розрахунку урівноваження нестачі мікроелементів за токсичної дії ВМ у тест рослинах. Дослідження включали 17 варіантів у трикратній повторюваності. Оцінка ефективності дії інактиваторів токсичності ВМ проводилась в експериментах *in vitro* та *in vivo*.

В основі кількісної оцінки дії детоксикантів забруднення ґрунту ВМ було використано принцип пороговості, тобто ступінь дії хімічних елементів залежить від концентрації їх у вивчаємій системі, дози, терміну, характеру дії ВМ, стабільності в системі, дози та виду антидоту, характеру його дії, концентрації, стабільності в системі. В якості “екологічної мішені” (слабкої ланки) дії токсичного агента виступали тест – рослини (овес – *Avena sativa* L., редиска - *Raphanus sativus* var. *Radicula*).

## Результати та їх обговорення

Поставлена мета розробки нового способу детоксикації ВМ в системі ґрунт – рослина досягається за рахунок того, що у способі детоксикації ВМ за умов забруднення ґрунту ВМ на базі підходу, який включає використання принципу геохімічного антагонізму катіонів металів у ґрунті, біохімічного антагонізму ВМ та мікроелементів – метаболітів у рослині, підвищується рівень інформативності про стан системи ґрунт – рослина в умовах забруднення. Системне сприяє інтенсифікації процесу розробки інактиваторів токсичності ВМ, оптимізації складу ґрунтового поглинаючого комплексу, що дозволяє зв'язувати іони токсичних металів, переводячи їх в малорухомі форми, сорбувати і високоефективно знешкоджувати ВМ. При оприскуванні рослин оптимізується мікроелементне живлення тест – рослин, збільшується надходження мікроелементів в тестові культури, знижується накопичення ВМ.

Необхідність комбінованого використання обприскування мікроелементами - аналогами ВМ, внесення мікроелементів – антагоністів у ґрунт та використання меліорантів органічної та неорганічної природи зумовлена теоретичним припущенням щодо підвищення ефективності детоксикації ВМ за рахунок урівноваження біохімічних процесів у тест рослинах шляхом використання сполук мікроелементів Zn, Cu, Mn, Co, B, Mo, сполук макроелементів Ca, Mg в системі високобуферний ґрунт – рослина та сприяння технологічності запропонованого способу.

За результатами досліджень було встановлено, що найбільш близьким аналогом по технічній суті й досягаемому результату є спосіб детоксикації з використанням водорозчинних солей заліза сумісно з азотними туками [2]. Згідно з запропонованим удосконалюється спосіб детоксикації ВМ у техногенних ґрунтах з нейтральними та лужними властивостями за рахунок здійснення фізико-хімічної адсорбції, зменшення рухомості ВМ шляхом утворення стійких органо-мінеральних комплексів, недоступних кореням рослин. Такий підхід забезпечує ефективність використаних детоксикантів в умовах забруднення. Однак, оскільки забруднення в зонах сталої дії фактору забруднення ВМ носить поліелементний характер, тому використання запропонованих детоксикантів досить переконливо знижує рухомість тільки Pb та Cd із всього спектру дії ВМ. Окрім того, залізо є антагоністом фосфору, цинку, марганцю. Тому, в умовах забруднення не виключаються процеси гальмування надходження фосфору та мікроелементів до рослин за використання надлишку солей заліза в якості меліоранта. Відповідно до нами запропонованого способу вище перелічені недоліки усуваються, тому що по – перше, використовуються метали – аналоги елементів – токсикан-

тів, по – друге, використовується більш широкий спектр меліорантів для сприяння зниженню рухомості ВМ та оптимізації стану ґрунтової складової системи ґрунт – рослина, по – третє, оптимізується мікроелементний стан рослинної системи шляхом обприскування тест – рослин мікроелементами, надходження яких блокують метали - забруднювачі. Тобто інактивація токсичності ВМ проходить в системі за рахунок перетворення явищ антагонізму на службу інактивації токсичності.

Співставлення представленого способу з іншими технічними рішеннями в сфері детоксикації ВМ в системі ґрунт – рослина не виявило технічних рішень, відмітні ознаки яких проявляли б аналогічні властивості. Отже, відмітні ознаки способу, що заявляється, є новими суттєвими ознаками, сукупність яких забезпечує зростання позитивного ефекту пропонованого способу та можливість детоксикації забруднених ВМ ґрунтів за різних рівнів та спектру токсичної дії ВМ.

Теоретичне підґрунття детоксикації (фізико-хімічні основи взаємодії мікроелементів – метаболітів, органічних кислот з ВМ включають одночасне протікання процесів іонного обміну, адсорбції і абсорбції, сокоагуляції) забезпечило ефективну санацію (детоксикацію) системи ґрунт - рослина. Хімічний механізм детоксикації ґрунту полягає у взаємодії токсичних металів з металами – антагоністами у системі ґрунт – рослина, а також із органічними інактиваторами токсичності з ймовірним утворенням нерозчинних у воді гуматів ВМ згідно з наступної схеми:  $n\text{Gum} + \text{Men} + x\text{p} = [\text{Gum} - \text{COOH}]_n \text{Me} + \text{HX}$ .

Висока ефективність запропонованого способу детоксикації ВМ підтверджується результатами досліджень (табл.1-2). Всі обрані варіанти двох блоків досліджень сприяють уповільненню рухомості ВМ, та збільшенню рухомості мікроелементів – метаболітів. Такий підхід забезпечує поліпшення якості тест - культур за умов забруднення ґрунту ВМ, а вміст ВМ у ґрунті наближається до фонового вмісту їх рухомих форм. Запропонований комплекс використання інактиваторів ВМ різної природи зменшує рухомість ВМ та забезпечує позитивний результат проведення детоксикації в умовах забруднення, що підтверджує коректний та ефективний вибір всіх запронованих комбінаційних варіантів інактивації ВМ в системі ґрунт – рослина.

Після отримання об'єктивної аналітичної інформації щодо оцінки ефективності детоксикації забрудненого ґрунту ВМ, наступним

етапом є проведення аналізу (визначення залежностей у системі даних, побудова регресійних рівнянь та їх адекватна оцінка, візуалізація) отриманих результатів шляхом використання багатовимірних статистичних методів аналізу (модулі “Базові статистики” та “Множинна регресія”) в рамках пакету Statistica 6.0. На основі використання модулю “Базові статистики” отримують ко-

реляційні матриці, які відображають існуючі залежності параметрів, що визначаються. Базуючись на використанні модулю "Множинна регресія" будують регресійні моделі. Результати регресійного аналізу представляють у чисельному та графічному вигляді, проводять подальший аналіз встановлених залежностей, який включає використання отриманого рівняння з метою оцінки ефективності детоксикації вмісту в системі ґрунт – рослина. На основі існуючої інформації (отриманої експериментальним шляхом та регресійних моделей) будують графік залежностей існуючих в системі, що сприяє економії часу та матеріальних ресурсів при аналізі ефективності інактивації ВМ. Останнє дозволяє встановити існуючі закономірності в системі детоксикант - ґрунт - фактор забруднення ВМ - тест - рослина та підтвердити закономірності, які отримані емпіричним шляхом, довести необхідність і можливість використання запропонованого комплексу детоксикації Cd, Pb, Ni, Cr, що базується на принципі антагонізму дії ВМ, мікро- та макроелементів, застосуванні комплексу інактиваторів органічної та неорганічної природи. Візуалізація припускає обробку даних безпосередньо з поточного файлу даних та, включає стандартні методи для графічного представлення інформації у відповідності до використаної програми.

**Висновки.** Отже, відмітними ознаками запропонованого нового способу, випробуваного в польових умовах, в порівнянні з відомими способами та підходами є:

Спосіб дозволяє максимально знизити токсичність ВМ в системі високобуферний ґрунт – рослина на базі активації процесів адсорбції та іонного обміну в ґрунтовій системі за використання меліорантів органічної та неорганічної природи, принципу антагонізму в системі ґрунт – рослина шляхом внесення елементів – антагоністів металам – токсикантам у ґрунт (використання явищ геохімічного антагонізму) та обприскування рослин мікроелементами – аналогами елементам – фітотоксикантам (біохімічний антагонізм).

Ефективність способу за умов моно – та поліелементного характеру забруднення системи ґрунт – рослина ВМ, що проявляється в зниженні надходження ВМ та поліпшенні якості тестових культур, які вирощувались за умов забруднення ВМ. За умов забруднення ґрунту знижується накопичення металів – токсикантів у тест – рослинах від 2 до 71%, збільшується вміст на 10 - 22%

Cu, на 2 - 33% Co, на 4 - 80 % Fe, на 12 - 83% Mn та у 1,8 - 4 рази Zn; ефективності при рівнях забруднення Cd, Pb, Ni, Cr, що перевищують фонові рівні вмісту ВМ у ґрунті в 3-10 разів.

Ефективність поєднання використання інактиваторів органічної та неорганічної природи з залученням елементів – антагоністів, аналогів ВМ у відповідних співвідношеннях: Cd -Fe–2:1, Ni - Zn–3:5, Pb - Zn–3:5, Cr- Fe–2:1.

Запропонований комбінований комплекс інактивації ВМ сприяв зниженню на 28-87% та на 2-66% рухомих форм Cd (відповідно ацетатно – амонійна витяжка та екстракт 1n HCl), на 4-61% та на 12-58% рухомих форм Ni відповідно у двох витяжках. Вміст рухомих форм Pb також знижувався на 7-48% у ацетатно – амонійній витяжці та на 6-44% у розчині 1n HCl. Рухомість Cr також знизилась на 2-65% та на 5-50%, відповідно у двох тестових екстрагентах ВМ.

Спосіб дозволяє оптимізувати мікроелементний стан системи ґрунт – рослина за рахунок збалансованості елементного живлення рослин за перетворення явищ антагонізму на службу інактивації токсичності.

Внесення металів – аналогів ВМ в систему ґрунт - рослина, на фоні використання інактиваторів токсичності різної природи, підсилює і прискорює механізми самоочищення, внаслідок чого відбувається зниження рухомості ВМ в ґрунті, що нейтралізує їх негативний вплив, оптимізується мікроелементний склад рослин, локалізується осередок токсичного забруднення не лише за площею, ймовірно і вертикально, чим забезпечується уповільнення можливої міграції ВМ у суміжні середовища.

Спосіб санації (детоксикації) забруднених ґрунтів є універсальним. Спосіб може застосовуватися на ґрунтах різних типів, що характеризуються різною здатністю до самоочищення за різних рівнів забруднення ВМ.

Спосіб є доцільним до використання в агро-екології, екогієні та екоотоксикології ґрунтів, санітарно-гігієнічній експертизі, при розробці концептуальних основ гігієнічного аудиту техногенно забруднених ґрунтів населених пунктів, сільськогосподарських угідь та при розробці заходів детоксикації забруднених ВМ територій.

травостою.

1. Байкин Ю.Л., Кесарева О.Г, Гусев А.С. и др., Способ выращивания сельскохозяйственных культур на почвах, загрязненных тяжелыми металлами RU №2189712, 27.09.2002
2. Байрак М.В., Зуза В.О. Способ детоксикации тяжелых металлов у техногенных грунтах UA №38192, 15.05.2001, Бюл. №4, 2001
3. Бекузарова С.А., Шабанова И.А. Способ использования бобовых трав на химически загрязненных почвах RU №2222930, 10.02.2004

4. Бенес Эйвинн Очистка гетерогенного материала от загрязнений с помощью сорбционного агента RU №2177843, 10.01.2002
5. Васильев Г.В. Удобрение – меліорант трепел RU №2004 122 499, 27.01.2006, Бюл. №3
6. Вельц Н.Ю. Способ защиты почвы от загрязнения тяжелыми металлами RU №2003 133 391, 27.04.2005, Бюл. №12
7. Ермаков Е.И., Ермаков А.Е., Желтов Ю.И. и др. Способ реставрации загрязненных почв RU №2101898, 20.01.1998

8. Исаков Д.А., Иоссель Ю.Я., Казаров Г.С. и др. Устройство для очистки от загрязненной капиллярно-пористой среды RU №2106432, 10.03.1998
9. Клаус Кайзер, Ханс – Йоахим Байер и др. Способ изоляции объемных участков почвы RU №95120570, 20.02.1998
10. Крамарьов С.М., Нейковський С.І., Яковішина Т.Ф. Спосіб зниження вмісту рухомих форм важких металів в техногенно забрудненому ґрунті UA №55960A, 15.04.2003, Бюл. №4, 2003
11. Лушников С.В., Поляков С.Н. Способ ликвидации загрязнений грунта органосодержащими веществами RU №2005 101567, 10.07.2006, Бюл. №19
12. Матыченков В.В., Бочарникова Е.А., Дьяков В.М. Кондиционер почвы RU №2122903, 10.12.1998
13. Меркушева М.Г., Инешина Е.Г., Цыренов В.Ж. и др. Способ биологической активации природных цеолитов RU №2255926, 10.07.2005, Бюл. №19
14. Михайкин С.В., Зезин А.Б., Рогачева В.Б. и др. Способ очистки почв и грунтов от радионуклидов и тяжелых металлов RU №2275974, 10.05.2006, Бюл. №13
15. Москальчук Л.Н. Средство для снижения степени токсичности загрязненных металлами, в том числе тяжелыми, лесных и сельскохозяйственных почв RU №2041910, 20.08.1995, Бюл. №23
16. Овчинников Н.А., Безденежных В.С. Способ реабилитации почв RU №2064748, 10.08.1996
17. Осадченко И.М., Горлов И.Ф., Серебрякова Т.Г. и др. Способ получения фитосорбента RU №2276620, 20.05.2006
18. Самохвалова В.Л. Применение антидотов при загрязнении системы почва – растение тяжелыми металлами Сообщение №4. Приемы по снижению токсичности тяжелых металлов (результаты 1 этапа исследований) //Экологія та ноосферологія. - 2004, Т.15. - №1-2. - С. 49-58
19. Самохвалова В.Л. Применение антидотов при загрязнении системы почва – растение тяжелыми металлами Сообщение №1. Отдельные концептуальные подходы к проблеме //Экологія та ноосферологія. - 2006, Т.17. - №1-2. - С. 91-98
20. Столяров А.И., Кирейчева Л.В., Глазунова И.В. Состав для мелиорации почв “Сорбекс”, RU №2049107, 27.11.1995, Бюл. №33
21. Фагрелль Пер-Оке Способ и устройство для отделения экологически вредных веществ от загрязненной массы RU №2059307, 27.04.1996
22. Фесенко Ю.Н. Способ очистки и дезактивации RU №2059307, 27.04.1996
23. Хрипач В.А., Воронина Л.П., Малеванная Н.Н. Средство для снижения накопления тяжелых металлов сельскохозяйственными культурами RU №2119285, 27.09.1998
24. Шульгин А.И. Водорастворимые гуминовые кислоты. Способ их получения и способ детоксикации земель, рекультивации почв сельскохозяйственного назначения, осуществляемый с помощью этих водорастворимых кислот RU №94019460, 27.07.1996, Бюл. №21
25. Юдин В.Н., Юдин А.В. Биопрепарат на основе гуминовых веществ RU №2258687, 20.08.2005, Бюл. №23
26. Chaney R.L. et al. //Curr Opin. Biotechnol., Vol 8., 1997. – P. 279-284
27. Raskin I., Smith R.D., Salt D.E. //Curr Opin. Biotechnol., Vol 8., 1997.- p. 221-226
28. Salt D.E. et al //Biotechnology, Vol. 13, 1995. – P. 468-474.

Отримано: 20 січня 2007 р.

Прийнято до друку: 1 лютого 2007 р.

Таблиця 1. Ефективність дії детоксикантів різної природи у дослідях з вивчення інактиваторів ВМ в системі ґрунт – тест-рослина.

№ варіанту досліджу	Вміст варіанту досліджу	Зниження вмісту ВМ у тест – рослинах *, % (* - чисельник-овес, знаменник – редиска)				Збільшення вмісту мікроелементів у тест – рослинах *, % (* - чисельник-овес, знаменник – редиска)				
		Cd	Ni	Pb	Cr	Zn	Cu	Co	Mn	Fe
Блок № 1 варіантів дослідів з використанням елементів – антагоністів металам – забруднювачам *(розрахунки проведено відносно 1 варіанту)										
1	N60P60K60 – Фон + (CdPbNiCr)3	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	1вар.+N30P60K30+ Ca200Mg60 + Zn50Cu30Mn150Co20B12Mo3	2	--	6	2	33	10	60	15	16
		58	68	43	30	y3,2p>	--	--	13	67
3	Фон+Cd6+ (PbNiCr)3+ +Fe3	21	--	29	23	--	18	77	4	24
		65	52	25	20	y 1,8p>	--	2	--	4
4	Фон+ Ni6 +(CdPbCr)3+Zn10	29	71	29	47	--	--	20	--	11
		68	59	29	48	y 2,2p>	--	--	--	41
5	Фон+ Pb6 +(CdNiCr)3+Zn10	29	--	24	3	28	--	33	11	9
		62	40	14	40	y 1,8p>	--	2	--	22
6	Фон+ Cr6 +(CdNiPb)3+Fe3	2	10	41	2	49	--	46	--	9
		40	--	17	--	y 2,7p>	--	13	--	35
7	1вар.+N30P60K30+Ca200Mg60 +обприскування ZnCuMnCoBMo	--	12	41	--	83	14	45	2	48
		37	--	8	12	y 1,5p >	--	6	--	21
Блок № 2 варіантів дослідів з використанням інактиваторів токсичності органічної та неорганічної природи в системі ґрунт – рослина										
8	3 вар. + перегній + урівноваження елементів	24	1,5	41	31	--	--	33	--	16
		64	29	14	16	--	--	--	--	43
9	3 вар. + перегній + вапнування + урівноваження	29	1,5	53	6	41	--	46	--	16
		67	46	43	24	y 2,25p >	--	--	--	15
10	3 вар. + перегній + оксид заліза + вапнування + урівноваження	29	33	29	--	41	15	33	--	12
		57	70	9	4	y 2,10p >	--	11	--	--
11	4 вар. + глауконітовий пісок + вапнування + урівноваження	33	--	29	15	12	--	--	--	9
		71	43	8	--	y 4 p >	--	--	--	5
12	4 вар.+ перегній + вапнування + урівноваження	30	--	35	--	21	--	--	--	11
		21	45	15	68	y 1,2p >	--	--	--	32
13	4 вар. + перегній + оксид заліза + вапнування + урівноваження	24	--	18	--	33	--	6	--	--
		54	36	14	10	y 2,10p >	--	2	--	80
14	5 вар.+ цеоліт + вапнування + урівноваження	11	--	41	--	70	--	--	--	12
		46	60	30	40	y 4,03p >	14	--	--	56
15	5 вар. + перегній + вапнування + урівноваження	20	36	29	--	41	--	20	--	--
		5	51	15	--	y 2,8p >	22	8	13	93
16	6 вар. + глауконітовий пісок + урівноваження	--	--	41	15	--	--	20	15	9
		45	46	30	60	y 1,10p>	--	--	--	34
17	6 вар. + оксид заліза + перегній + урівноваження	21	60	41	--	30	--	--	2	25
		64	76	1,5	44	y 1,53p>	--	--	--	12

Таблиця 2. Ефективність дії детоксикантів різної природи у дослідях з вивчення інактиваторів токсичності ВМ у ґрунтовій системі.

№ варіанту досліджу	Вміст варіанту досліджу	Зниження рухомості ВМ у ґрунті *, % (середні дані за 2 роки досліджень, чисельник - ацетатно-амонійна буферна витяжка з рН 4,8, знаменник – витяжка 1нНС1)				Збільшення рухомості мікроелементів у ґрунті *, % (середні дані за 2 роки досліджень, чисельник - ацетатно-амонійна буферна витяжка з рН 4,8, знаменник – витяжка 1нНС1)				
		Cd	Ni	Pb	Cr	Zn	Cu	Co	Mn	Fe
Блок № 1 варіантів дослідів з використанням елементів – антагоністів металам – забруднювачам *(розрахунки проведено відносно 1 варіанту)										
1	N60P60K60 - Фон +(CdPbNiCr)3	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2	1вар.+N30P60K30+Ca200Mg60+Zn50Cu30Mn150Co20B12Mo3	51	24	-	19	у 2,8р	у 6,3р	у 2,4р	82	23
		17	0,7	7	16	у 2,4р	у 7р	у 2,5р	53	-
3	Фон+Cd6+ (PbNiCr)3+ +Fe3	44	4	37	29	у 6р	9	11	6	-
		2	-	12	34	-	-	-	-	-
4	Фон+ Ni6 +(CdPbCr)3+Zn10	34	15	29	-	у 7р	у 3р	у 2р	13	-
		21	29	32	-	30	у 3р	2,3	у 1,9р	6
5	Фон+ Pb6 +(CdNiCr)3+Zn10	53	-	-	-	у 5р	у 3,5р	у 5,5р	76	10
		22	-	-	-	у 9,5р	у 4р	у 5,4р	у 2,3р	22
6	Фон+ Cr6 +(CdNiPb)3+Fe3	37	43	7	22	у 4,5р	у 3р	71	41	15
		-	34	6	9	у 5р	у 3р	у 2,1р	у 2р	-
7	1вар.+N30P60K30+Ca200Mg60 +обприскування ZnCuMnCoBMo	87	30	22	9	у 6р	у 3,5р	27	35	8
		29	29	17	5	у 7р	у 3р	у 2р	88	-
Блок № 2 варіантів дослідів з використанням інактиваторів токсичності органічної та неорганічної природи в системі ґрунт – рослина										
8	3 вар. + перегній + урівноваження елементів	28	29	11	7	40	25	11	6	48
		41	14	-	-	-	-	4	58	6
9	Звар .+ перегній + вапнування + урівноваження	-	28	3	13	у 7,8р	у 5,8р	у 2,2р	40	-
		22	19	-	10	у 4р	у 6р	у 2,9р	у 2р	-
10	3 вар. + перегній + оксид заліза + вапнування + урівноваження	22	32	18	-	у 9,1р	у 3,2р	у 1,5р	24	4
		9	12	22	-	6	у 4р	у 2,6р	у 2р	15
11	4 вар. + глауконітовий пісок + вапнування + урівноваження	72	-	31	59	у 26р	-	-	-	44
		66	-	44	50	у 18р	-	20	34	15
12	4 вар.+ перегній + вапнування + урівноваження	52	-	-	2	у 5,2р	у 3,5р	у 2,2р	24	21
		34	-	-	12	у 6р	у 4р	у 2,7р	у 2р	4
13	4 вар. + перегній + оксид заліза + вапнування + урівноваження	55	-	31	22	у 5,3р	у 3,3р	у 2,4р	17,5	10
		33	-	19	-	у 6р	у 4р	у 2,8р	у 2р	14
14	5 вар.+ цеоліт + вапнування + урівноваження	55	38	33	48	у 10,9р	-	-	15	39
		39	41	14	45	у 18р	-	8	35	-
15	5 вар. + перегній 6 кг/м2 + вапнування + урівноваження	31	32	-	-	у 5,5р	у 3,5р	84	28	-
		-	24	-	-	у 5,1р	у 3р	у 2,4р	у 2р	-
16	6 вар. + глауконітовий пісок + урівноваження	64	32	37	65	29	-	-	51	у 4,4р
		32	37	21	-	-	-	8	67	15
17	6 вар. + оксид заліза +перегній +урівноваження	62	61	48	33	у 7,2р	у 2,3р	40	23	у 1,5р
		38	58	38	9	у 4,3р	у 2,3р	64	70	-





