

УДК 504.53.06:504.054.272

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ УРБОЕКОСИСТЕМ, ЗАБРУДНЕНИХ КАТІОНАМИ МЕТАЛІВ

Шматков Г.Г., Яковишина Т.Ф.

ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»  
вул. Чернишевського, 24а, 49100, м. Дніпро  
t\_yakovyshyna@ukr.net

Розроблено комплексний підхід до відновлення ґрунтів урбоекосистем, забруднених катіонами металів, і принципу вибору їх складових частин з урахуванням рівня техногенного навантаження та ступеня порушення під час сумісного застосування заходів із відтворення екологічних функцій і усунення токсичності ґрунтів. Установлено, що найбільш ефективним поєднанням складових частин технологій для фітостабілізації є рослина-деконцентратор + меліорант + укорінювач + мікробіологічний препарат; для фітоекстракції – рослина-фітоекстрактор + ефектор фітоекстракції + стимулятор росту + азотне мінеральне добриво. Запропоновано визначати дози внесення меліоранта й ефектора фітоекстракції, зважаючи на коефіцієнт адсорбції ґрунтово-вбирного комплексу. *Ключові слова:* катіон, метал, забруднення, відновлення, ґрунт, урбоекосистема.

**Комплексный подход к восстановлению почв урбоэкосистем, загрязненных катионами металлов.** Шматков Г.Г., Яковишина Т.Ф. Разработан комплексный подход к восстановлению почв урбоэкосистем, загрязненных катионами металлов, и принципу выбора их составляющих с учетом уровня техногенной нагрузки и степени нарушения при совместном проведении мероприятий по восстановлению их экологических функций и устранению токсичности почв. Установлено, что наиболее эффективным сочетанием составляющих технологий для фитостабилизации является растение-деконцентратор + меліорант + укоренитель + микробиологический препарат; для фитоекстракции – растение-фитоекстрактор + эффектор фитоекстракции + стимулятор роста + азотное минеральное удобрение. Предложено определять дозы внесения меліоранта и эффектора фитоекстракции с учетом коэффициента почвенно-поглотительного комплекса. *Ключевые слова:* катион, металл, загрязнение, восстановление, почва, урбоэкосистема.

**The complex approach to the soil restoration of the urban ecosystems, contaminated by the metal cations.** Shmatkov H.H., Yakovyshyna T.F. The complex approach to the soil restoration of the urban ecosystems contaminated by the metal cations and the principle of selecting their constituents has been worked out taking into account the anthropogenic loading level and destruction degree, with the joint application of the reproduction measures on of their ecological functions and toxicity elimination. The most effective combination of constituent technologies has been established for phytostabilization – plant-deconcentrator + ameliorant + rooting device + microbiological preparation; for phytoextraction – plant-phytoextractor + effector of phytoextraction + growth stimulator + nitrogen mineral fertilizer. The dosages of ameliorant and effector of phytoextraction have been justified with adsorption coefficient of the soil-ward complex. *Key words:* cation, metal, contamination, restoration, soil, urban ecosystem.

**Постановка проблеми.** Ґрунти урбоекосистем, забруднені катіонами металів, потребують створення технологій їх відновлення. Проблема ускладнюється тим, що, окрім забруднення, антропогенний вплив на ґрунти в межах міста визначається іноді через майже повну втрату його екологічних властивостей унаслідок впливу будівельної діяльності. Отже, виникає необхідність створення комплексного підходу щодо відновлення порушених і забруднених ґрунтів шляхом їх фіторемедіації, що є актуальним для забезпечення екологічної безпеки урбоекосистем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для відновлення ґрунтів урбоекосистем, забруднених катіонами металів, серед методів ремедіації найбільше поширення дістала саме фіторемедіація, що складається з двох принципово різних стратегій:

– фітостабілізація – вирощування толерантних до надлишкових кількостей металів рослин із метою запобігання міграції металів трофічними ланцюгами в екосистемі;

– фітоекстракція – вирощування рослин, здатних поглинати з ґрунту катіони металів, концентрувати їх у надземній біомасі з подальшим переробленням.

Здійснений аналіз екологічного потенціалу рослин щодо можливості виносу й накопичення катіонів металів дав змогу встановити рослини-гіперакумулятори (ріпак (*Brassica napus* L.), суріпиця (*Barbarea vulgaris* R. Br.), тифон (*Brassica rapa*) [1], амброзія полинолиста (*Ambrosia artemisiifolia* L.) [2], резуха Галлера (*Cardaminopsis halleri* L.) [3], гірчиця сарептська (*Brassica juncea*) [4], райґрас пасовищний (*Lolium perenne*) [5]) і рослини-деконцентратори (кормові трави – люцерна (*Medicago sativa*)).

[6], козлятник (*Galega officinalis*) [7]). Здебільшого методи фітореMediaції стосуються забруднених, але непорушених ґрунтів, котрі можуть забезпечити потреби рослин у достатній кількості поживних елементів, належному повітряно-водному режимі, проте в умовах урбоекосистеми паралельно з підвищенням умісту катіонів металів відбувається втрата їх екологічних функцій унаслідок впливу будівельної діяльності, тому використання їх для усунення токсичності міських ґрунтів є досить проблематичним. Фактично потрібно паралельно вирішити дві проблеми, а саме: відновити ґрунти й усунути токсичність, що з'являється внаслідок забруднення катіонами металів. Однак досі не було спроб створення технологій, спрямованих на комплексне вирішення питання, розроблені тільки додаткові заходи з підвищення ефективності фітореMediaції, приміром, як застосування ефекторів фітоекстракції для збільшення виносу катіонів металів із ґрунту [8].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Мета роботи полягала в розробленні науково обґрунтованого підходу до відновлення ґрунтів урбоекосистем, забруднених катіонами металів, шляхом створення алгоритму вибору технологій, спрямованих як на усунення спричиненої ними токсичності, так і на відтворення екологічних функцій міських ґрунтів.

**Методика досліджень.** Пошук шляхів відновлення забруднених катіонами металів ґрунтів за допомогою фітореMediaції проводили у двох напрямках:

– шляхом фітостабілізації під час вирощування багаторічної трави з родини бобових (люцерни (*Medicago sativa*)) у поєднанні з унесенням меліоранта ( $K_2CO_3$ ), органічного добрива («Стимовіт Ферті» (укорінювач)) і бактеріального препарату (біокомплекс БТУ-р універсальний);

– за допомогою заходів із фітоекстракції металів із ґрунту кореневою системою рослини-гіперакумулятора – райграсу пасовищного (*Lolium perenne*) у сполученні з препаратами (ЕДТА, стимулятор росту «Корневін») і мінеральним добривом ( $NH_4NO_3$ ), сумісна дія яких спрямована на підтримку металів у стані, здатному до міграції, і забезпечення сприятливих умов для росту й розвитку рослин.

Під час проведення досліджень використовувалися безпосередньо урбаноземі м. Дніпро, котрі були відібрані з ключових ділянок згідно із системою екомоніторингу за вмістом катіонів металів.

Варіанти вегетаційного дослідження з фітостабілізації ґрунту:

1) контроль – зональний ґрунт чорнозем звичайний;

2) забруднений ґрунт 14,3 ГДК по Pb, відібраний на ділянці 37 мережі екологічного моніторингу, що відповідає перехрестю бульвару Зоряного та вул. Запорізьке шосе;

3) забруднений ґрунт +  $K_2CO_3$ ;

4) забруднений ґрунт +  $K_2CO_3$  + «Стимовіт Ферті» (укорінювач);

5) забруднений ґрунт +  $K_2CO_3$  + «Стимовіт Ферті» + біокомплекс БТУ-р універсальний.

$K_2CO_3$  вносили у вигляді водного розчину перед висівом насіння з подальшою заробкою й ретельним перемішуванням ґрунту. Доза меліоранта була в 1,5 рази більша за еквівалентну кількість, необхідну для повного хімічного зв'язування катіонів Pb.

«Стимовіт Ферті» (укорінювач) – високоєфективне органічне добриво, виготовлене з біогумусу, збагачене макро- й мікроелементами, а також комплексом біологічно активних речовин природного походження, що містить у своєму складі гумусових речовин – до 1,5%, N – 1,0%, P – 1,8%, K – 1,3%, Mn – 50,0 мг/л, Mg – 0,2 мг/л, Zn – 25,0 мг/л, Cu – 50,0 мг/л, Co – 5,0 мг/л. Перед посадкою проводили інокуляцію насіння з розрахунку 1:10 (препарату до води) протягом однієї доби. Протягом вегетації здійснювали кореневе підживлення з розрахунку 1:40 (препарату до води) раз на два тижні згідно із запропонованими рекомендаціями щодо використання «Стимовіта Ферті» (укорінювача).

Біокомплекс БТУ-р універсальний містить азотфіксуючі, фунгіцидні, фосфор- і каліймобілізуючі бактерії широкого спектра дії. Кореневе підживлення з розрахунку 3 мл на 1 л води проводили згідно із запропонованими рекомендаціями щодо використання раз на два тижні, чергуючи із застосуванням «Стимовіта Ферті» (укорінювача).

За тест-рослину була обрана люцерна посівна (*Medicago sativa*) – квітуча багаторічна рослина з родини бобових (*Fabaceae*), що, як і всі бобові, завдяки наявності бульбочкових бактерій фіксує молекулярний азот із атмосферного повітря, отже, за умови багаторічного вирощування здатна підвищувати вміст цього мікроелемента в ґрунті, а завдяки декоративним властивостям буде доречною в зелених зонах міста.

Варіанти вегетаційного дослідження з фітоекстракції ґрунту:

1) контроль – зональний ґрунт чорнозем звичайний;

2) міський ґрунт, відібраний на ділянці Г11 мережі екологічного моніторингу, що відповідає зеленій зоні по вул. Курсантській, забруднений у дозі 10 ГДК по Cd;

3) забруднений ґрунт + ЕДТА;

4) забруднений ґрунт + ЕДТА + стимулятор росту «Корневін»;

5) забруднений ґрунт + ЕДТА + стимулятор росту «Корневін» + аміачна селітра.

Згідно з реакцією обміну ми розраховували необхідну кількість ЕДТА і, зважаючи на коефіцієнт адсорбції ґрунтово-вбирного комплексу, підвищували дозу в 1,5 рази. Необхідну кількість ЕДТА вносили у вигляді водного розчину перед висівом

насіння із подальшою заробкою й ретельним перемішуванням ґрунту.

Корневін – стимулятор коренеутворення, аналог гетероауксину – використовували шляхом опудрення насіння перед висівом, а також у вигляді розчину для кореневого підживлення з розрахунку раз на два тижні згідно із запропонованими рекомендаціями по використанню.

Доза внесення аміачної селітри була оптимальною для зонального ґрунту (чорнозему звичайного) і становила 60 кг/га за діючою речовиною.

Тест-культурою був райграс пасовищний (*Lolium perenne*) – трав'яниста квіткова рослина роду Патижниць (*Lolium*) родини Злаки (*Poaceae*), котра, як і всі злаки, завдяки своїм біологічним властивостям є досить чутливою до підвищення рівня катіонів металів у ґрунті, здатна у великих кількостях накопичувати їх у своїй біомасі, отже, є перспективним фітоекстрактором металів.

Рослини вирощували в поліетиленових ємностях об'ємом 5 л. При фітостабілізації ґрунту після завершення сходів залишали по 14 рослин люцерни на кожну вегетаційну ємність. У вегетаційному досліді з фітоекстракції на початку кушення в ємності залишали по 100 рослин райграсу пасовищного для утворення стійкого рослинного покриву. Для відтворення результатів вегетаційні досліді проводили в чотириразному повторенні.

Уміст катіонів металів у рослинах і ґрунті визначали за допомогою атомно-абсорбційних спектрофотометрів ASS-1 і С-115М1 згідно з методиками [9–11].

Ефективність запропонованих заходів щодо екстракції або навпаки, блокування катіонів металів у ґрунті, що відбивалася через фіторемедіаційний потенціал досліджуваних рослин, визначали за коефіцієнтом біологічного поглинання (далі – КБП) і тканинним коефіцієнтом (далі – ТК):

$$\text{КБП} = \frac{C_{P_i}}{C_{T_i}}, \quad (1)$$

$$\text{ТК} = \frac{\text{Снадзем. част.}_i}{\text{Спідзем. част.}_i}, \quad (2)$$

де  $C_{P_i}$  – уміст важкого металу в рослині або її частині, мг/кг;

$C_{T_i}$  – валовий уміст важкого металу в ґрунті, мг/кг;

Снадзем. част.<sub>i</sub> – уміст важкого металу в надземній частині, мг/кг;

Спідзем. част.<sub>i</sub> – уміст важкого металу в підземній частині, мг/кг.

Заходи з фітоекстракції катіонів металу з ґрунту вважали успішними за умови перевищення значеннями ТК і КБП одиниці згідно з методикою W.J. Fitz (2002) [12]; навпаки, ефективність фітостабілізації відбивалася через помірну (0,04–0,25) та інтенсивну (0,0025–0,04) деконцентрацію рослиною в конкретних умовах за А. Ковалевським (1991 р.).

**Виклад основного матеріалу.** Сутність запропонованого науково обґрунтованого підходу полягає в тому, що відправною точкою у виборі технології є вміст катіонів металів і їх кількість, здатна до міграції, що визначається у витягу ААБ з рН 4,8 (табл. 1), відносно якого вже потім розраховують дозу меліоранта чи ефектора фітоекстракції, що має бути в 1,5 рази більше за еквівалентну кількість, необхідну для повного хімічного зв'язування катіонів (у першому випадку – в слабкорозчинні карбонати, а в другому – для утворення водорозчинних комплексних сполук) за реакцією обміну, зважаючи на коефіцієнт адсорбції ґрунтово-вбирного комплексу. Вибір рослин обґрунтовується значеннями КБП і ТК, котрі можуть бути підсилені додатковими препаратами та створенням сприятливих умов для вивільнення чи закріплення катіонів металів у ґрунті. Розроблені технології враховують особливості міських ґрунтів, як-то ступень деградації, що усувається застосуванням мікробіологічних препаратів і добрив залежно від спрямування процесу відновлення. Складники технологій із відновлення ґрунтів урбоєкосистем, забруднених катіонами металів, відповідають обраній стратегії (фітостабілізація чи фітоекстракція) і тим самим підсилюють очікуваний від їх упровадження ефект.

У досліді із фітостабілізації використання карбонату калію в якості меліоранта сприяло осадженню катіонів свинцю шляхом утворення слабкорозчинної сполуки  $Pb(CO_3)_2$  (добуток розчинності –  $1,1 \cdot 10^{-5}$  г на 100 г ґрунтового розчину). Додаткове надходження катіонів калію позитивно впливало на ріст і розвиток люцерни посівної (*Medicago sativa*), адже цей елемент має важливе значення для багатьох функцій рослин, як-то активація ферментів, синтез білку,

Таблиця 1

**Алгоритм вибору технології та її складників для відновлення міських ґрунтів, забруднених катіонами металів**

Уміст катіонів металів, виділених ААБ (рН 4,8)	Технологія	Вимоги до рослини	Наявність ознак деградації ґрунту	Додаткові препарати для розвитку рослин	Додаткові умови підвищення ефективності технології
Низький	Фітостабілізація	КБП < 1 ТК < 1	Мікробіологічний препарат	Укорінювач	Меліорант
Високий	Фітоекстракція	КБП > 1 ТК → 1	Азотне добриво	Стимулятор росту рослин	Ефектор фітоекстракції

## Ефективність процесу відновлення ґрунтів, забруднених катіонами металів

Складові частини технології	КБП		ТК
	надземна частина	корені	
Фітостабілізація (умови забруднення – 14,3 ГДК за Pb)			
Рослина-деконцентратор люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> )	0,39	0,44	0,87
Рослина-деконцентратор люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> ) + меліорант K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,27	0,37	0,73
Рослина-деконцентратор люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> ) + меліорант K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + укорінювач «Стимовіт Ферті»	0,23	0,34	0,68
Рослина-деконцентратор люцерна посівна ( <i>Medicago sativa</i> ) + меліорант K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + укорінювач «Стимовіт Ферті» + мікробіологічний препарат «Біокомплекс БТУ-р універсальний»	0,19	0,31	0,62
Фітоекстракція (умови забруднення – 10 ГДК за Cd)			
Рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний ( <i>Lolium perenne</i> )	6,84	7,59	0,90
Рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний ( <i>Lolium perenne</i> ) + ефектор фітоекстракції ЕДТА	7,23	7,98	0,91
Рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний ( <i>Lolium perenne</i> ) + ефектор фітоекстракції ЕДТА + стимулятор росту «Корневін»	7,36	8,12	0,91
Рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний ( <i>Lolium perenne</i> ) + ефектор фітоекстракції ЕДТА + стимулятор росту «Корневін» + мінеральне добриво (аміачна селітра)	8,17	8,56	0,95

фотосинтез тощо. Дія меліоранта була підсилена додатковим застосуванням укорінювача «Стимовіт Ферті», який належить до високоефективних органічних добрив, виготовляється з біогумусу, збагачений макро- і мікроелементами, а також комплексом біологічно активних речовин природного походження. Наявність гумусових речовин сприяла утворенню органо-мінеральних комплексів із катіонами свинцю. Біологічно активні речовини природного походження, потрапляючи до люцерни посівної (*Medicago sativa*), стимулювали її ріст і розвиток, що є вкрай необхідним для ослаблених рослин за наявності дисбалансу елементів мінерального живлення в умовах техногенного навантаження на антропогенно порушених ґрунтах. Мікробіологічний препарат «Біокомплекс БТУ-р універсальний» чинив вплив на міські ґрунти у двох напрямках: по-перше, відновлював їх екологічні функції за рахунок прискорення процесів трансформації сполук, котрі містять поживні елементи; по-друге, сприяв усуненню токсичності шляхом утворення фосфатів свинцю. Сукупна дія всіх складників технології з фітостабілізації призводила до помірної деконцентрації катіонів свинцю люцерною посівною (*Medicago sativa*) із чітким акропетальним розподіленням по органах рослини за ТК (табл. 2).

У досліджах із фітоекстракції ефектор (ЕДТА) утворював міцні водорозчинні внутрішньокмплесні сполуки з катіонами кадмію, що підвищувало їх здатність до міграції й доступність для рослин – фітоекстракторів. Крім того, іншими вченими доведено, що під його впливом відбувається збільшення біомаси коренів [13] і рослини в цілому [14], підвищення ферментативної активності [10] і доступ-

ності інших макро- й мікроелементів, необхідних для росту й розвитку рослин [8]. За умов наявності надлишкових кількостей катіонів металу, здатних до міграції, у техногенно забрудненому ґрунті для активного їх поглинання рослинами в останніх потрібно було, по-перше, сформувати розгалужену кореневу систему, а по-друге – забезпечити інтенсивний приріст біомаси, чому сприяло використання препарату «Корневін», який є стимулятором коренеутворення в рослин. Дія азотного добрива (аміачної селітри) була спрямована, по-перше, на стимулювання росту й розвитку рослин за рахунок наявності достатньої кількості азоту, а по-друге – на підкислення ґрунтового розчину, що призводило до вивільнення катіонів металу. Ефективність фітоекстракції відбивалася через накопичення Cd в органах і в рослині в цілому й визначалася через коефіцієнти КБП і ТК (табл. 2), значення яких у запропонованому варіанті перевищувало чи наближалось до одиниці, отже, розроблений метод вважається доцільним для застосування.

Результати експериментальних досліджень, наведених у табл. 2, свідчать, що максимально можлива ефективність процесу відновлення ґрунту (як за фітостабілізації, так і за фітоекстракції) досягається за умови залучення всіх складових частин запропонованих технологій, адже це сприяє створенню оптимальних ґрунтових умов (у першому випадку – щодо блокування, а в другому – щодо надходження катіонів металів у рослини урбоєкосистем).

**Головні висновки.** Розроблено комплексний підхід до створення технологій відновлення забруднених катіонами металів ґрунтів урбоєкосистем

і принципу вибору їх складників з урахуванням рівня техногенного навантаження та ступеня порушення під час сумісного застосування заходів щодо припинення їх деградації й усунення токсичності. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що найбільш ефективним поєднанням складових частин технологій для фітостабілізації є рослина-деконцентратор люцерна посівна (*Medicago sativa*) + меліорант  $K_2CO_3$  + укорінювач «Стимовіт Ферті» + мікробіологічний препарат (біокомплекс БТУ-р універсальний); а для фітоекстракції – рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний

(*Lolium perenne*) + ефектор фітоекстракції (ЕДТА) + стимулятор росту («Корневін») + азотне мінеральне добриво (аміачна селітра). Упровадження розроблених технологій сприятиме досягненню екобезпеки техногенно навантажених урбоєкосистем.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Надалі увагу потрібно зосередити на пошуку рослин-фітоекстрагентів і деконцентраторів для створення стійких фітоценозів урбоєкосистем різних природно-кліматичних зон, що знаходяться в умовах інтенсивного техногенного навантаження внаслідок забруднення катіонами металів.

### Література

1. Гавриляк М., Баранов В. Пат. на корисну модель 50789 UA. Спосіб очищення ґрунтів породного відвалу вугільних шахт від важких металів. Опубл. 25.06.2010 р. Бюл. № 12. 9 с.
2. Дронь М., Чмиленко Ф., Смітюк Н. Пат. на корисну модель 4726 UA. Спосіб очищення техногенно забруднених ґрунтів від важких металів. Опубл. 15.02.2005 р. Бюл. № 2. 4 с.
3. Башмаков Д., Лукаткин А. Аккумуляция тяжелых металлов некоторыми высшими растениями в разных условиях местобитания. Агрохимия. 2002. № 9. С. 66–71.
4. Линдиман А., Шведова Л., Тукумова Н., Невский А. Фиторемедиация почв, содержащих тяжелые металлы. Экология и промышленность России. 2008. № 9. С. 45–47.
5. Яковишина Т. Пат. на корисну модель 125583 UA. Спосіб фіторемедіації ґрунтів урбоєкосистем, забруднених важкими металами; заявник і патентовласник ДВНЗ «ПДАБтаА». № у 2017 12916; заявл. 02.01.2018 р.; опубл. 10.05.2018 р. Бюл. № 9. 5 с.
6. Яковишина Т. Пат. на корисну модель 1215555 UA. Спосіб відновлення ґрунтів урбоєкосистем, забруднених свинцем; заявник і патентоволодар ДВНЗ «ПДАБтаА». № у 2018 00061; заявл. 26.12.2018 р.; опубл. 10.05.2018 р. Бюл. № 9. 5 с.
7. Яковишина Т. Фитостабилизация почвы, загрязненной тяжелыми металлами. Инновации та трансфер технологий: від ідеї до прибутку: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 26–27 квітня 2011 р). Дніпропетровськ, 2011. С. 33–34.
8. Автухович И. Повышение фитоэкстракции почвенного кадмия посредством применения ЭДТА. Лесной вестник. 2003. № 3. С. 133–145.
9. ГОСТ 30178–96. Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсических элементов. Введ. 01.07.1996 р. Москва: Изд-во стандартов, 1996. 9 с.
10. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Под ред. Н. Зырина и С. Макахова. Москва: Гидропромиздат, 1981. 108 с.
11. Физико-химические методы исследования почв / Под ред. Н. Зырина и Д. Орлова. Москва: Изд-во МГУ, 1980. 382 с.
12. Fitz W., Wenzel W. Arsenic transformation in the soil – rhizosphere – plant system, fundamentals and potential application of phytoremediation. Journal of Biotechnology. 2002. V. 99. P. 259–278.
13. Самохвалова В., Фатеев А., Зуза С., Зуза В. Пат. на корисну модель 85002 UA. Спосіб ремедіації техногенно забрудненого важкими металами ґрунту; опубл. 11.11.2013 р. Бюл. № 21. 5 с.
14. Puschenreiter M., Stoger G., Lombi E. Phytoextraction of heavy metals contaminated soils with *Thlaspi goesigense* and *Amaranthus hybridus*: rhizosphere manipulation using EDTA and ammonium sulfate. Plant nutrition and soil science. 2001. Vol. 164. P. 615–626.
15. Галиулин Р., Башкин В., Галиулина Р., Кухарски Р. и др. Влияние эффектов фитоэкстракции на ферментативную активность почвы, загрязненной тяжелыми металлами. Агрохимия. 1998. № 7. С. 77–86.