

УДК 581.7:581.151+632.15

Г.С. КИРИЧУК¹, Л.О. ПЕРЕПЕЛИЦЯ¹, І.П. ПЕРЕПЕЛИЦЯ¹, М.С. КОЗАЧЕНКО²

¹ Житомирський державний університет ім. Івана Франка,

вул. Велика Бердичівська, 40, Житомир 10008

² Національний педагогічний університет ім. М.П. Драгоманова,

вул. Пирогова, 9, Київ, 01601.

ОСОБЛИВОСТІ БІОЛОГІЧНОЇ АКУМУЛЯЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ РОСЛИННІСТЮ В УМОВАХ АНТРОПОГЕННОГО ТИСКУ

Наведено результати дослідження оцінки рівнів забруднення важкими металами (плюмбум, кадмій) ґрунтового покриву і рослинницької продукції на ділянках приміської зони, прилеглих до автошляхів «Житомир-Київ». Уперше застосовано різнобічний підхід до вивчення вмісту цих важких металів у системі ґрунт-рослина для екологічної оцінки лікарської рослинної сировини. Виявлено чутливі та толерантні види лікарських рослин до поглинання важких металів.

Ключові слова: важкі метали, ґрунт, лікарські рослини, фітомоніторинг, рослини-індикатори

Останніми десятиріччями значно посилюється вплив антропогенного чинника на біосферу, що може призвести до екологічного дисбалансу в навколишньому середовищі та є причиною істотних змін у геохімічному циклі багатьох елементів, зокрема, іонів важких металів (ВМ). Забруднення довкілля є актуальним питанням для України, оскільки вміст ВМ у багатьох регіонах перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) [5, 6, 9, 15]. За тривалої дії джерел забруднення відбувається значне збільшення валового вмісту ВМ. У першу чергу це стосується ґрунтово-рослинного покриву, який є активним чинником та середовищем депонування і міграції ВМ.

Прослідкувати за ступенем такого антропогенного впливу можна за допомогою рослин-індикаторів, які надійно та показово характеризують забруднення екосистеми і служать таким чином важливим доповненням до засобів спостережень за станом рослинності та ґрунту. Якісна оцінка екологічної ситуації та аналіз перерозподілу хімічних елементів у системі ґрунт-рослина є надзвичайно актуальним завданням [1, 12, 14, 16].

Саме тому основна увага представленої роботи була спрямована на теоретичне обґрунтування та експериментальні докази можливості використання виявленого видового складу рослин-аккумуляторів (РА), рослин-індикаторів (РІ) та рослин-елімінаторів (РЕ) для попередньої оцінки забруднення ВМ територій для збору лікарських рослин. Це дасть змогу прогнозувати процеси накопичення ВМ у продуктах рослинного походження, нормувати їх

надходження за трофічними ланцюгами і своєчасно застосовувати заходи з обмеження їх міграції до рослин з метою запобігання забруднення рослинної продукції токсикантами.

Матеріал і методи досліджень

Збір рослинної сировини проводився згідно з методиками польового збору в кінці травня 2011 року на околиці м. Житомира біля автомагістралі “Житомир – Київ”. Обрані ділянки, сіножатні луки (дослідна ділянка 1) та сосновий ліс (дослідна ділянка 2), розміщені на відстані 200 м від автомагістралі. Змішані проби з 5-8 рослин одного виду відбиралися з ділянки 10 м² із кожного досліджуваного екоотопу в трьохкратній повторності. Вміст ВМ було досліджено у 11 видів домінуючих лікарських рослин: грицики звичайні (*Capsella bursa-pastoris* L.), деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), крушина ламка (*Rhamnus frangula* L.), подорожник великий (*Plantago major* L.), череда трироздільна (*Bidens tripartita* L.), солодка гола (*Glycyrrhiza glabra* L.), сосна звичайна (*Pinus silvestris* L.), хвощ польовий (*Equisetum arvense* L.), шавлія лікарська (*Salvia officinalis* L.).

Хімічний аналіз проводили в тій частині рослини, яка є лікарською сировиною [13]. Абсолютний вміст хімічних елементів та їх рухомі форми у ґрунті визначався методом атомно-абсорбційної спектрометрії. Проби були відібрані згідно з ГОСТом 17.4.3.01.-83 з поверхневого шару ґрунту. Вміст валових і рухомих форм ВМ у ґрунті визначали у витяжці 1М HNO₃ на приладі С 115–1М. При вивченні динаміки забруднення ВМ ґрунтів значну увагу зосереджували на аналізі верхніх ґрунтових горизонтів, оскільки вони у найбільшій мірі підлягають забрудненню. Проби рослинності для визначення ВМ готували за методикою К’ельдаля. Рослини фіксували 96%-вим етиловим спиртом, який через 6-12 годин упарювали при температурі 105°C. Потім зразки спалювали в HNO₃ (марки ОСЧ) протягом 12-24 год до повного знебарвлення суміші. Кількісний вміст іонів ВМ устанавлювали за допомогою С-115М з полум’яним аналізатором (стандарт СЕВ 5346) (ацетилен-повітря). Всього виконано 78 аналізів. Інтерпретація та обробка отриманих результатів супроводжувалась розрахунком коефіцієнту накопичення (КН). Обробку цифрових матеріалів здійснено методом варіаційної статистики [18].

Результати досліджень та їх обговорення

В Україні за рік викидається в атмосферу близько 16 млн. т токсичних речовин. Найшкідливішими у цих викидах і відходах є ВМ [10]. Як правило, забруднення ними носить локальний характер. Найзабрудненіші території зустрічаються поблизу промислових центрів, потужних виробництв і транспортних магістралей [15]. Досліджено, що характерними забруднювачами ґрунтів м. Житомира, його промислових, автотранспортних ландшафтів є купрум, цинк і плумбум [11, 24]. Аналіз стану ґрунтів з слаболужною реакцією (рН 7,0–7,5) з обох дослідних ділянок показав, що вздовж автомагістралі було відмічено значне забруднення токсикантами – плумбумом та кадмієм. Зокрема, на відстані 200 м від полотна дороги валова форма плумбуму перевищує природний фон ділянки 1 у 4,4 рази, а кадмію – у 2,0 рази, а на ділянці 2 – відповідно у 4,2 та 1,7 раз (табл. 1).

Вміст валових форм плумбуму на ділянці 1 вищий на 5% за вміст валових форм цих елементів на ділянці 2, а кадмію на 11%. Зазначимо, що на дослідній ділянці 1 вміст валової форми плумбуму в 2,2 рази перевищує ГДК, а рухомі форми – в 5 раз. На другій дослідній ділянці ці показники перевищують ГДК в 2,1–5,3 рази відповідно.

Високий вміст рухомих форм плумбуму в ґрунті на узбіччі лісозахисної смуги соснового лісу (табл. 1) ймовірно пов’язаний з техногенною природою надходження цього елемента з повітряних мас і зумовлений, насамперед, надходженням та утриманням цього елемента деревами з забруднених від автотранспортних засобів ландшафтів, які межують з ними. Концентрація валових та рухомих форм кадмію не перевищували показники ГДК.

Встановлено, що валові та рухомі форми досліджених ВМ характеризуються нерівномірністю та контрастністю ареалів розсіювання продуктів техногенезу на обстежуваній території (табл.1). Зі зростанням їх вмісту зростає нерівномірність розподілу геохімічних параметрів у просторі та змінюється фрагментарність і контрастність атмотехногенних ареалів

розсіювання, оскільки елемент-поллютант має більш високий ступінь варіювання в просторі, ніж педогенний елемент. Коефіцієнти варіації плумбуму та кадмію на обох дослідних ділянках коливаються від 26 до 35% та від 15 до 22% відповідно, що підтверджує техногенну природу походження цих поллютантів.

Як зазначають ряд дослідників [2, 4, 8], плумбум і кадмій відноситься до найпоширеніших забруднювачів разом із купрумом та цинком. Накопичення плумбуму та кадмію в ґрунті має негативний вплив на його родючість, життєдіяльність ґрунтових організмів, ріст і розвиток рослин [2, 4, 8]. Особливо актуальним є вивчення забрудненості ВМ рослинницької продукції, яка є першою ланкою трофічних ланцюгів [7, 19]. Адаптація рослин до токсичного впливу будь-яких поллютантів можлива лише у вузькому діапазоні концентрацій і в таких умовах зовнішнього середовища, коли природні чинники не створюють додаткових стресових ситуацій [8, 20]. Саме тому нами були відібрані не лише проби ґрунту на виявлення вмісту ВМ, а й зразки домінуючих на досліджуваних територіях видів 11 лікарських рослин. Аналіз отриманих даних щодо вмісту плумбуму в різних видах рослин не виявив в них перевищення значень ГДК (рис. 1). З'ясовано, що за однакових умов зростання різні види рослин накопичують плумбум в органах не однотипово. Доведено, що найбільше плумбуму містить кора *R. frangula* – 0,94 мг/кг, найменше – листки *U. dioica* – 0,23 мг/кг (рис. 1). Достатньо високо забрудненими виявилися листкові пластини *P. major*, що пов'язано з морфологічними особливостями цієї рослини [24], а саме – інтенсивно розвиненою кореневою системою, яка розміщена в поверхневих шарах ґрунту, де значна концентрація ВМ має доступну для рослин форму. Рослини, з яких як лікарська сировина використовується у переважно суцвіття (*H. perforatum*, *B. tripartita*, *S. officinalis* та *A. Millefolium*) містять незначну кількість плумбуму - 0,29 – 0,34 мг/кг.

Таблиця 1

Валова та рухома форми ВМ (мг/кг) у супіщаних ґрунтах на узбіччі автомагістралі “ Житомир – Київ ”

Метали	Форми важких металів	Дослідна ділянка № 1		Дослідна ділянка №2		
		$\bar{x} \pm m_x$	CV	$\bar{x} \pm m_x$	CV	% відхил. від контр.
Pb	Валова форма	44,221 ± 0,096	27,846	42,023 ± 0,105	33,423	- 4,93
	Рухома форма	30,309 ± 0,099	35,746	32,372 ± 0,089	26,191	+ 6,83
Cd	Валова форма	0,981 ± 0,024	15,188	0,871 ± 0,013	17,738	- 11,22
	Рухома форма	0,323 ± 0,016	22,619	0,282 ± 0,022	18,54	- 45,46

Дещо в менших кількостях в лікарській сировині накопичується кадмій. Найбільші його кількості концентрували *G. glabra* (0,12 мг/кг), *E. arvense* (0,09 мг/кг), *C. bursa-pastoris* (0,06 мг/кг), а найменші – *U. dioica* (0,02 мг/кг). Встановлено, що накопичення кадмію з однаковою інтенсивністю відбувається у *P. major* та *P. silvestris* (0,06 мг/кг), *H. perforatum* та *A. millefolium* (0,04 мг/кг), *S. officinalis* та *B. tripartita* (0,03 мг/кг). Найвищою здатністю до акумуляції кадмію характеризувались солодка гола, крушина ламка та хвощ польовий.

U. dioica у порівнянні з іншими рослинами найменше накопичує кадмій та плумбум за високої концентрації їх у ґрунті. Саме тому цю рослину можна віднести до РЕ. Серед досліджуваних об'єктів за інтенсивністю поглинання кадмію можна виділити РІ щодо даного елемента: *G. glabra* (0,12 мг/кг), *E. arvense* (0,09 мг/кг), *C. bursa-pastoris* (0,06 мг/кг). За інтенсивністю поглинання плумбуму до РІ відносяться: *P. major* (0,86 мг/кг) та *P. silvestris* (0,68 мг/кг). Аналіз даних накопичення обох досліджених ВМ дав змогу відносно і плумбуму, і кадмію *R. frangula* віднести до РА.

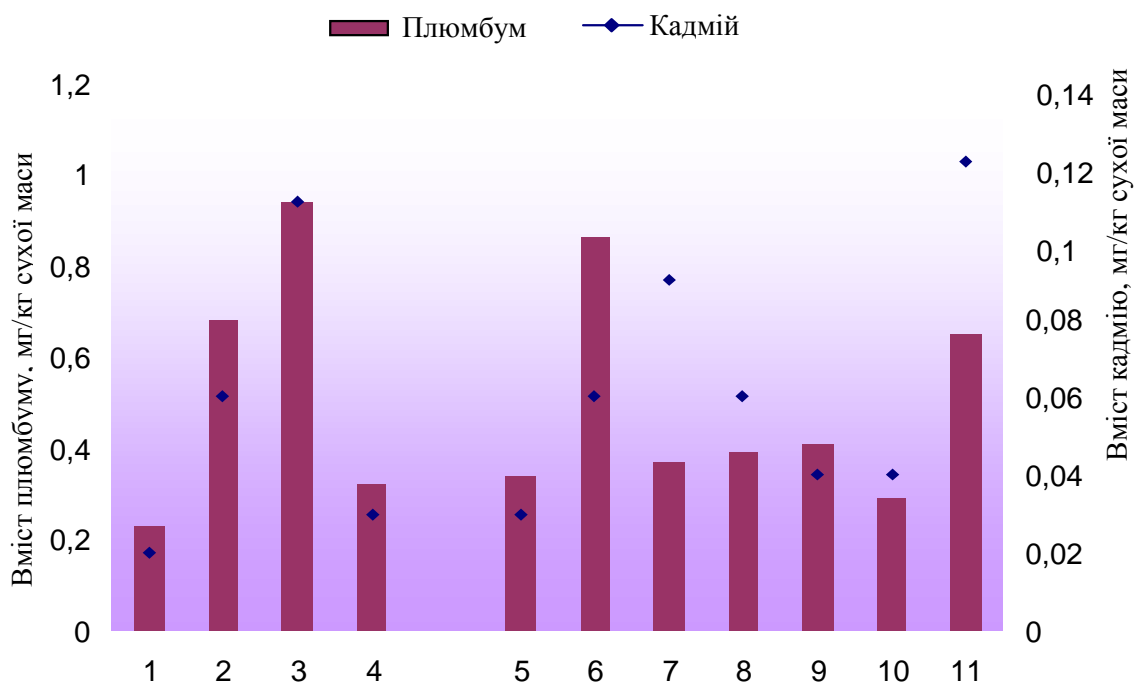


Рис. 1. Вміст п्लомбуму та кадмію у лікарській рослинній сировині*: 1 – *U. dioica*; 2 – *P. silvestris*; 3 – *R. frangula*; 4 – *B. tripartita*; 5 – *S. officinalis*; 6 – *P. major*; 7 – *E. arvense*; 8 – *C. bursa-pastoris*; 9 – *A. millefolium*; 10 – *H. perforatum*; 11 – *G. glabra*.

*Примітка. Умовні позначення такі ж як до рис. 2, 3.

Відомо, що деяким видам рослин властиве накопичення досить великих кількостей елементів, а інші нездатні до накопичення [22, 23]. Проведений аналіз видової специфіки накопичення досліджених елементів в системі ґрунт-рослина показав, що вони акумулюють Pb у наступному порядку: *R. frangula* > *P. major* > *P. silvestris* > *G. glabra* > *A. millefolium* > *C. bursa-pastoris* > *E. arvense* > *S. officinalis* > *B. tripartita* > *H. perforatum* > *U. dioica*. Порядок накопичення Cd в рослинній продукції дещо інший: *G. glabra* > *R. frangula* > *E. arvense* > *C. bursa-pastoris* > *P. major* = *P. silvestris* > *H. perforatum* = *A. millefolium* > *S. officinalis* = *B. tripartita* > *U. dioica*.

Порівняльний аналіз КН у системі ґрунт-рослина показав, що не дивлячись на те, що валовий вміст елементів у ґрунті в декілька разів перевищує фонові значення, а подекуди і ГДК, у рослинах їхній вміст варіює в неширокому діапазоні (рис.2). Показано, що кора *R. frangula* характеризується значною сорбційною здатністю та піддалася тривалому хронічному отруєнню (рис.3). Отже, кора *R. frangula* фітоценозів не лише виконує фільтрувальні, пилоосаджувальні, газопоглинальні функції, але й може бути застосована як елемент дендроіндикації забруднення урболаншафтів ВМ в системі біологічного моніторингу територій з інтенсивним рухом автотранспорту. Найвищий КН відносно рухомої форми п्लомбуму характерний для *P. major* (0,36) на дослідній ділянці 1 та *R. frangula* (0,022) на дослідній ділянці 2, а найнижчий – для *H. perforatum* (0,0095) та *U. dioica* (0,0055) (рис.3). Високий рівень КН у *G. glabra* відносно валового вмісту кадмію, проте низький відносно рухомої форми даного елемента. Високі показники КН відносно валового вмісту та рухомої форми кадмію відмічені для *E. arvense*, *P. silvestris*, *R. frangula*. Виявлено низькі значення КН кадмію відносно рухомої форми (від 0,031 до 0,041) та валового вмісту (від 0,093 до 0,125) для *B. tripartita*, *S. officinalis*, *P. major*, *E. arvense*, *C. bursa-pastoris*, *A. millefolium* та *H. perforatum*.

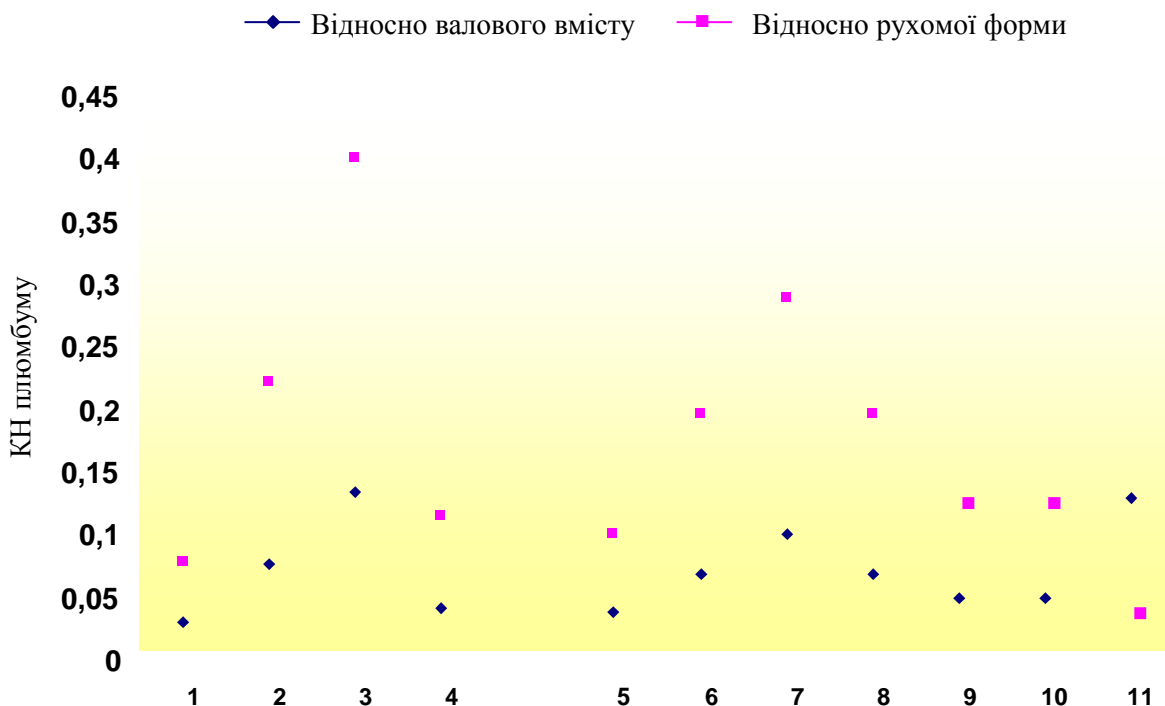


Рис. 2. Коефіцієнт накопичення плюмбуму в рослинах відносно його валового вмісту та рухомої форми у ґрунті

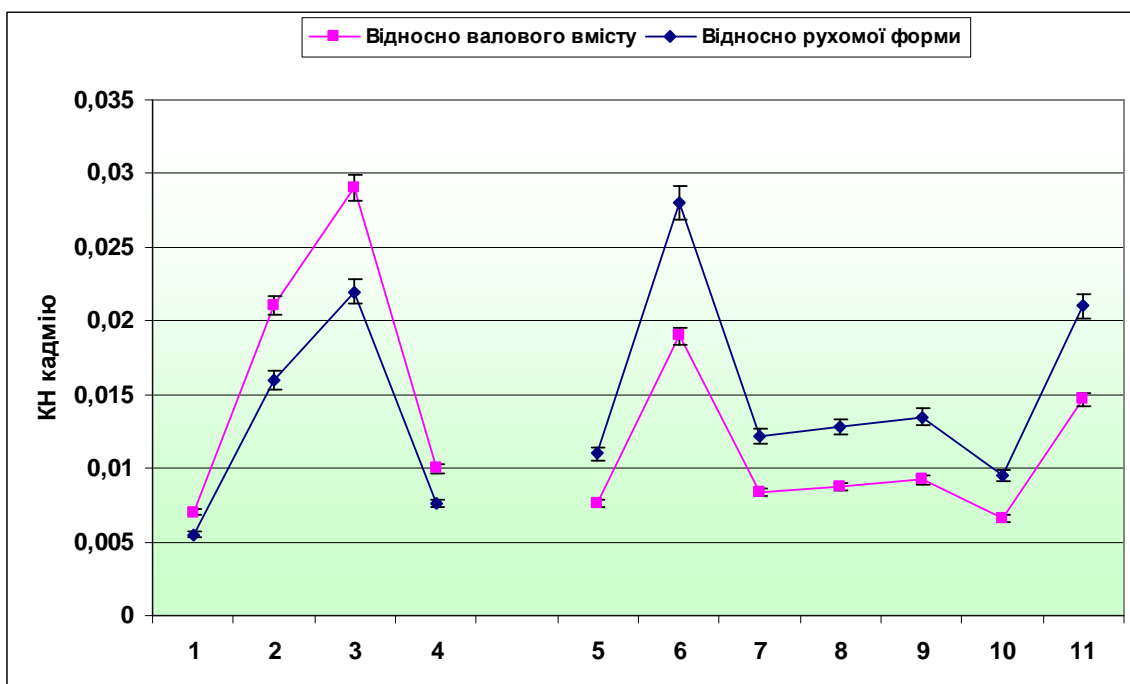


Рис. 3. Коефіцієнт накопичення кадмію в рослинах відносно його валового вмісту та рухомої форми у ґрунті

Висновки

Встановлено, що вміст валових форм кадмію та плюмбуму перевищує фоновий вміст цих елементів. Зафіксоване перевищення вмісту валових та рухомих форм плюмбуму на обох дослідних ділянках відносно ГДК, а вміст кадмію в усіх випадках не перевищував значень його ГДК.

Аналізуючи отримані результати акумуляції ВМ в рослинній сировині, можна рекомендувати використовувати для моніторингу рівня Pb рослини *P. major* та *R. frangula*, а для контролю вмісту Cd – *E. arvense*, *P. silvestris*, *R. frangula*.

1. *Алексеев Ю.В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. *Алексеева-Попова Н.В.* Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов / Н.В. Алексеева-Попова. – Л.: Наука, 1991. – 214 с.
3. *Безсонова В.П.* Вплив важких металів на пігментну систему листка / В.П.Безсонова // Укр. бот. журн. –1992. – Т.49, №2. – С. 63-66.
4. *Важенин И.Г.* Почва как активная система самоочищения от токсического воздействия тяжелых металлов / И.Г. Важенин // Химия в сельском хозяйстве. –1982. – № 3. – С. 27-33.
5. *Валерко Р. А.* Забруднення важкими металами ґрунтового покриву і фітоценозів на території м. Житомира та прилеглих до нього агроєкосистем / Р. А. Валерко // Вісник ДАЕУ. – 2008. – № 1. – С. 356-366.
6. *Галаган О.О.* Ландшафтно-геохімічні дослідження міграції важких металів у лісостепових ландшафтних комплексах України / О.О. Галаган // Укр. географ. журн. –1993. – № 2. – С. 32 – 35.
7. *Гармаш Г.А.* Содержание свинца и кадмия в различных частях картофеля и овощей, выращенных на загрязненной этими металлами почве / Г.А. Гармаш //Химические элементы в системе почва – растение. – 1982. – №5. – С. 105 – 110.
8. *Гуральчук Ж.З.* Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам / Ж.З. Гуральчук // Физиология и биохимия культурных растений. – 1994. – 26, №2.– С.107–117.
9. *Давидова С.Л.* Тяжёлые металлы как супертоксиканты XXI века / С.Л. Давыдова, В.И. Тагасов. – М.: Наука, 2002. –140 с.
10. *Добровольский В.В.* Глобальная геохимия свинца. Свинец в окружающей среде / В.В.Добровольский. –М.: Просвещение, 1987. – 93 с.
11. *Жовинский Э. Я.* Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины / Э. Я. Жовинский, И. В. Кураева – К. : Наукова думка, 2002. – 213 с.
12. *Зырин Н.Г.* Нормирование содержания тяжелых металлов в системе почва–растение / Н.Г. Зырин, А.В. Сердюкова // Химия в сельском хозяйстве. – 1985. – № 6.– С. 45–48.
13. *Ивашин Д.С.* Справочник по заготовкам лекарственных растений / Д.С. Ивашин, З.Ф. Катина, И.З. Рыбачук. – М. : Урожай, 1989 . – 288 с.
14. *Ильин В. Б.* Тяжелые металлы в системе почва – растения / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991.– 180 с.
15. *Картава О. Ф.* Еколого-географічні дослідження ґрунтів в умовах інтенсивних антропогенних навантажень / О. Ф. Картава, Я. О. Мольчак // Україна та глобальні процеси. – 2000. – Т. 2. – С. 86–90.
16. *Козьякова Н.О.* Міграція важких металів у системі "ґрунт–рослина" – екотоксикологічний критерій їх небезпечності / Н.О. Козьякова, Н.А. Макаренко, В.М. Кавецький // Наук. вісн. НАУ. – 2000. – Вип. 32. – С. 365 – 370
17. *Курава И.В.* Основные геохимические факторы подвижности микроэлементов в почвах Украины / И.В. Курава // Минералогический журнал. – 1996. – № 6. – С. 26 – 29.
18. *Лакин Г.Ф.* Биометрия / Г.Ф. Лакин. –М.: Высшая школа, 1990. –352 с.
19. *Лекарственные растения.* Справочное пособие / под ред. Н.И. Гриневич. – М.: Высшая школа, 1990. – С. 342–343
20. *Мартин Р.* Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Мартин Р. – М.: Мир, 1993. – 25 с.
21. *Феник С.И.* Механизмы формирования устойчивости растений к тяжелым металлам / С.И.Феник, Я.Б. Блюм // Успехи совр. биол. – 1995. – Т. 115. – Вып.3. – С. 261–275.
22. *Antonovics J.* Heavy metal tolerance in plants / J. Antonovics // Adv. Ecol. Res. – 1971. – Vol. 7. – P. 71–85.
23. *Kozuharova E.* Global human impact on the environment, water sources and the medical plants / E. Kozuharova // Фармація. – 2005. – Т.2, №1–2. – С. 42–45.
24. *Miles L.J.* Effect of Soil Cd Addition on Germination of Native Plant Species / L.J. Miles, G.R. Parker //Plant and Soil. – 1980. – Vol. 54, № 27. – P. 243 – 247.

Г.Е. Киричук, Л.А. Перепелица, И.П. Перепелица, М.С. Козаченко

Житомирский государственный университет им. Ивана Франка, Украина

Национальный педагогический университет им. М.П. Драгоманова, Киев, Украина

**ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ
РАСТЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ПРЕССА**

Приведены результаты исследования оценки уровней загрязнения тяжёлыми металлами (плумбум, кадмий) почвенного покрова и растительной продукции на участках пригородной зоны, граничащей с автодорогой «Житомир-Киев». В работе впервые использован разносторонний подход по изучению содержания тяжёлых металлов (Pb, Cd) в системе почва-растение для экологической оценки лекарственной растительной продукции. Определены чувствительные и толерантные виды лекарственных растений к поглощению тяжёлых металлов.

Ключёвые слова: тяжелые металлы, почва, лекарственные растения, фитомониторинг, растения-индикаторы

G. Ye. Kyrychuk, L. O. Perepelitsa, I. P. Perepelitsa, M. S. Kozachenko

I. Franko Zhytomyr State University, Ukraine

National Dragomanov Pedagogical University, Kyiv, Ukraine

**PECULIARTITIES OF HEAVY METALS BIOLOGICAL ACCUMULATION BY VEGETATION
UNDER ANTHROPOGENIC PRESSURE**

The estimation of soil and vegetation contamination with heavy metals (lead, cadmium) on the suburban areas, adjoining the motorway Zhytomyr-Kyiv is given. For the first time multilateral approach to heavy metals (Pb, Cd) content investigation in the system soil-plant for ecological evaluation of medical raw plants is used sensible and tolerant to heavy metals absorption species of medical plants are identified.

Key words: heavy metals, soil, medical plants, phytomonitoring, plants-indicators

Рекомендує до друку

Надійшла 14.09.2011

В.З. Курант