

**ВМІСТ ЕЛЕМЕНТІВ ГРУПИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ДЕРЕВИНІ
ГОЛОВНИХ ЛІСОТВІРНИХ ПОРІД РЕКРЕАЦІЙНО-ОЗДОРОВЧИХ
ЛІСІВ ПІВНІЧНОГО ПРИДНІПРОВСЬКОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

С. А. Ситник, В. М. Ловинська, кандидати біологічних наук

М. М. Харитонов, доктор сільськогосподарських наук

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

Проаналізовано вміст елементів групи важких металів (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn) у ґрунті та деревині сосни звичайної та робінії несправжньооакації в межах Північного Придніпровського Степу України. Виявлено більш істотне накопичення важких металів у деревині сосни порівняно із робінією.

Ключові слова: Північний Придніпровський Степ, сосна звичайна, робінія несправжньооакація, акумуляція важких металів.

Проблема компартментації важких металів в автотрофному блоці лісових екосистем є визначальною під час дослідження їх токсичної дії й механізмів стійкості рослин [18, 21, 22].

Значний інтерес представляють дослідження щодо біоаккумуляції важких металів у різних типах фітоценозів, адже саме рослини, як автотрофний блок екосистем, відіграють важливу роль у перерозподілі хімічних елементів між окремими складовими біосфери. Особливе значення в цьому процесі мають лісові ландшафти, як домінантні геохімічні регулятори циклічних масопотоків важких металів глобального рівня [2, 5, 16].

Надмірні концентрації важких металів у довкіллі, що значно перевищують природні, можуть значною мірою впливати на функціонування рослинних організмів, знижувати біотичну продуктивність лісів, погіршувати їх рекреаційний потенціал, змінювати показники якості деревини, що може позначатися на її екологічній безпеці.

У комплексі досліджень біотичної продуктивності, дослідження ролі деревостанів у лісових біогеоценозах щодо міграції та депонування елементів групи важких металів, особливо у зоні техногенного навантаження, є актуальним і своєчасним завданням, вирішення якого дозволить знайти механізми селективної здатності лісотвірних порід до поглинання і накопичення важких металів у тканинах та вилучення їх із кругообігу на тривалий час. Надмірні концентрації важких металів можуть певною мірою впливати на перебіг фізіологічних процесів, що знаходить відображення у зміні інтегрального показника функціонування деревних рослин – фітомасі. За даними літератури, деревні рослини реагують на забруднення навколишнього середовища зниженням біотичної продуктивності [20, 21].

У сучасній вітчизняній науковій літературі відсутні роботи стосовно систематичних досліджень щодо депонування важких металів у деревині лісотвірних порід техногенно-навантажених територій.

Північний Придніпровський Степ України зазнає значної антропопресії. Лісові екосистеми регіону можна розглядати в площині потенційних депонаторів забруднювальних речовин різної етіології. Особливо актуальним є розгляд здатності деревини дендрофлори лісів до накопичення поллютантів, так як акумульовані токсиканти на значний час виключаються з кругообігу речовин у лісовій екосистемі.

Мета дослідження – визначення депонувальних властивостей головних лісотвірних порід – сосни звичайної та робінії несправжньооакації відносно елементів групи важких металів у лісах Північного Придніпровського Степу. Регіон досліджень було окреслено у межах лісів, що належать до категорії рекреаційно-оздоровчих і входять до структури державного підприємства «Дніпропетровське лісове господарство».

Для дослідження було обрано метали, які є пріоритетними забруднювачами регіону – Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn. На сьогодні в науковій літературі викладено результати досліджень щодо форм і шляхів надходження

важких металів у рослини та механізмів їх метаболізму як у рослинному організмі, так і на рівні фітоценозів.

Кадмій – особливо токсичний елемент, який не належить до необхідних для рослин елементів, проте ефективно поглинається кореневою системою рослин [4, 12, 13]. Надходження цього елемента до рослин збільшується зі зростанням його концентрації в ґрунті. Щодо форми транспортування кадмію, в літературі єдина думка відсутня. А. Kabata-Pendias вважає, що перенос кадмію у рослині здійснюється речовиною–носієм аналогічно цинку, але має обмежені масштаби через те, що він легко займає більшість обмінних позицій в активних речовинах клітинних стінок. Іншими дослідниками показано, що кадмій транспортується у надземну частину в катіонній формі, оскільки в міжклітинних розчинах тканин коренів і листків він представлений у формі йона Cd^{2+} [18, 20]. R. J. Reid показав, що за умов надходження кадмію до рослин через листки відбувається швидкий перерозподіл елемента до інших вегетативних органів по флоємі [13, 23].

На інтенсивність надходження цинку до рослин впливає багато факторів: наявності сполук кадмію у складі поліелементного знаходження у навколишнє середовище, цинк виступає його антагоністом [2]. Стосовно взаємодії кадмію та цинку необхідно констатувати, що існують дані як про антагонізм, так і про синергізм між цими елементами в процесах їх поглинання та транспорту [11, 23].

Багатьма дослідженнями доведено, що рослини здатні поглинати плумбум (Pb) як із ґрунту, так і з повітря, незважаючи на те, що він вважається металом із низькою біологічною доступністю і найбільше накопичується в коренях [7, 8, 14, 17]. Автор І. В. Серьогін вказує, що плумбум надходить до рослин пасивно [7, 8]. На процесі транслокації даного елемента не впливає рН ґрунту, оскільки Pb здатний до утворення ковалентних зв'язків незалежно від значень рН [15]. Транслокація плумбуму з коренів до надземної частини рослин досить обмежена і тільки близько 3 % токсиканту переміщується до стебла [15, 16]. Запропонована гіпотеза, згідно з якою плумбум не

поглинається безпосередньо коренями з ґрунту, а сорбується з відмерлого рослинного матеріалу, що накопичився поблизу них [14, 17].

Процеси поглинання з ґрунту і пересування нікелю в рослинах досліджені відносно мало. Розчинні форми нікелю активно абсорбуються коренями рослин, причому поглинання цього елемента значно корелює з його вмістом у середовищі вирощування [3, 5, 9, 10].

Матеріали та методика досліджень. Об'єкти досліджень – сосна звичайна (абориген) та робінія несправжньоакація (інтродуцент). Зразки рослин відбирались у лісостанах Кіровського, Ленінського та Любимівського лісництв ДП «Дніпропетровський лісгосп» у п'яти локалітетах: №1 – лісопаркова частина Любимівського лісництва, №2 – лісопаркова частина Кіровського лісництва, №3 – ліси населених пунктів Кіровського лісництва, №4 – лісопаркова частина Кіровського лісництва, №5 – ліси населених пунктів Ленінського лісництва (рис. 1).

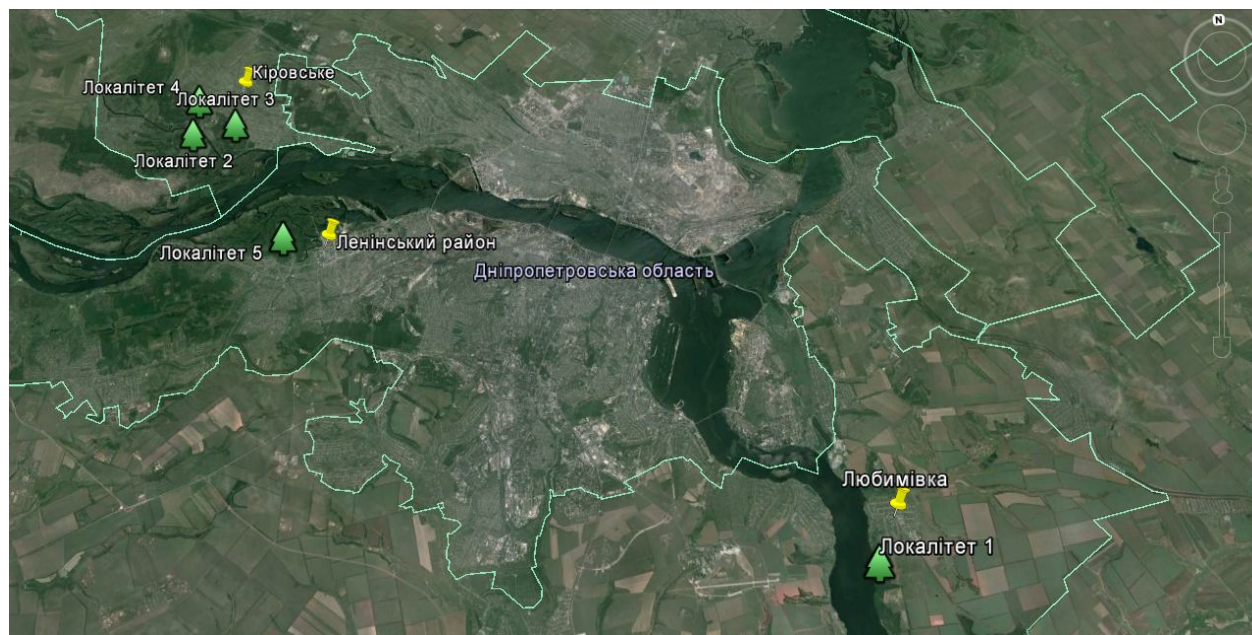


Рис. 1. Регіон досліджень

Для сосни звичайної та робінії несправжньоакації були відібрані рослини віком 83 та 45 років (локалітет №1), 31 та 24 роки (локалітет №2), 12 років (локалітет №3), 45 років (локалітет №4), 12 та 3 років (локалітет №5). Вміст важких металів визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії за

довжини хвиль: Cd – 228,8 нм, Pb – 283,3 нм, Cu – 324,7 нм, Zn – 324,7 нм, Ni – 232,0 нм, Mn – 279,5 нм. Результати опрацьовано стандартними статистичними методами Excel 2007.

Результати досліджень. За результатами досліджень вмісту елементів групи важких металів у деревині основних лісотвірних порід рекреаційно-оздоровчих лісів Північного Придніпровського Степу України виявлені значні розбіжності у депонувальному потенціалі як між досліджуваними породами, так і в межах різних вікових груп кожної породи.

Концентрація Cd в деревині досліджуваної робінії різних вікових груп знаходився в діапазоні 0,011–0,154 мг/кг. Встановлена тенденція концентрування даного елемента з віком: деревина 3-річного екземпляра містила 0,011 мг/кг, 12-річного – 0,034 мг/кг, а 45-річного – 0,154 мг/кг, що в 14 разів перевищувало показник вмісту 3-річного екземпляру (рис. 2).

Інша досліджувана лісотвірна порода – сосна звичайна, також демонструвала максимальне накопичення кадмію у деревині найстарішого екземпляра: деревина 83-річної сосни містила 0,107 мг/кг, а наймолодшої – мінімальну концентрацію – 0,037 мг/кг. Щодо абсолютних значень вмісту кадмію у деревині робінії його вміст був вищим, ніж у деревині сосни (рис. 2). Найвищий вміст для двох порід виявлений на одній локації – в лісопарковій частині лісів Любимівського лісництва.

Істотні розбіжності в акумулюванні деревиною досліджуваних лісотвірних порід зареєстровано для цинку. Діапазон зміни вмісту даного металу в деревині робінії є дуже значним і становив 0,904–8,202 мг/кг із максимумом у деревині наймолодшого екземпляру та мінімальною його концентрацією у перестиглих рослин. Для даного виду наявна чітка тенденція до мінімізації його з віком, що може бути обумовлено значною метаболічною поліфункціональністю цинку. Встановлена тенденція знайшла підтвердження й у сосни звичайної, але абсолютні значення вмісту цинку в сосни є вищими: на відміну від робінієвих деревостанів, показники накопичення даного мікроелементу в деревині сосни в два рази перевищують максимальне значення

дерев робінії. Найвищим вмістом цинку характеризуються представники наймолодшої вікової групи в лісостанах Ленінського – 16,295 мг/кг та Кіровського лісництв – 13,102 мг/кг.

Результати аналізу підтверджують гіпотезу щодо антагоністичної взаємодії кадмію та цинку. В лісопарковій частині Ленінського лісництва, де зафіксовані найвищі значення вмісту цинку в деревині обох порід, зафіксовано найнижчий рівень кадмію (рис. 2).

Нашими дослідженнями встановлено, що діапазон вмісту Pb для обох досліджуваних порід був більш широким і становив 0,469–1,456 мг/кг (робінія) та 0,535–1,828 мг/кг (сосна). Тенденції щодо концентрування досліджуваного металу з віком виявлено не було. Найбільший вміст свинцю фіксується як для робінії – 1,456 мг/кг, так і для сосни – 1,828 мг/кг у однаковому віці 45 років у рекреаційних лісах смт. Кіровське. Мінімальна концентрація даного металу зареєстрована для перестиглих екземплярів обох порід (рис. 2).

Із отриманих даних щодо вмісту купруму (Cu) виявлено, що у рослин робінії несправжньоюоакації варіювання показників його вмісту в усіх досліджуваних локалітетах не перевищують 0,331 мг/кг. Найбільшу концентрацію вказаного мікроелементу зафіксовано в деревах лісів населених пунктів для екземплярів робінії віком 12 років. У рослин сосни звичайної фактичний вміст та діапазон концентрацій міді є вищими, порівняно з робінією. У розрізі цієї породи це може бути пояснено тим, що сосна за літературними даними вважається концентратором купруму: коефіцієнт накопичення даного елементу в хвої становить 3,35–5,97. Як і у випадку концентрування свинцю, найвищий показник вмісту цього металу встановлений для рослин 4-ї локації віком 45 років, що зростають у лісопарковій частині Кіровського лісництва (рис. 2). Концентрація міді в деревині дуба пухнастого становить 1,8 мг/кг, що вище ніж у робінії, та значно менше, порівняно з іншою лісотвірною породою – сосною звичайною.

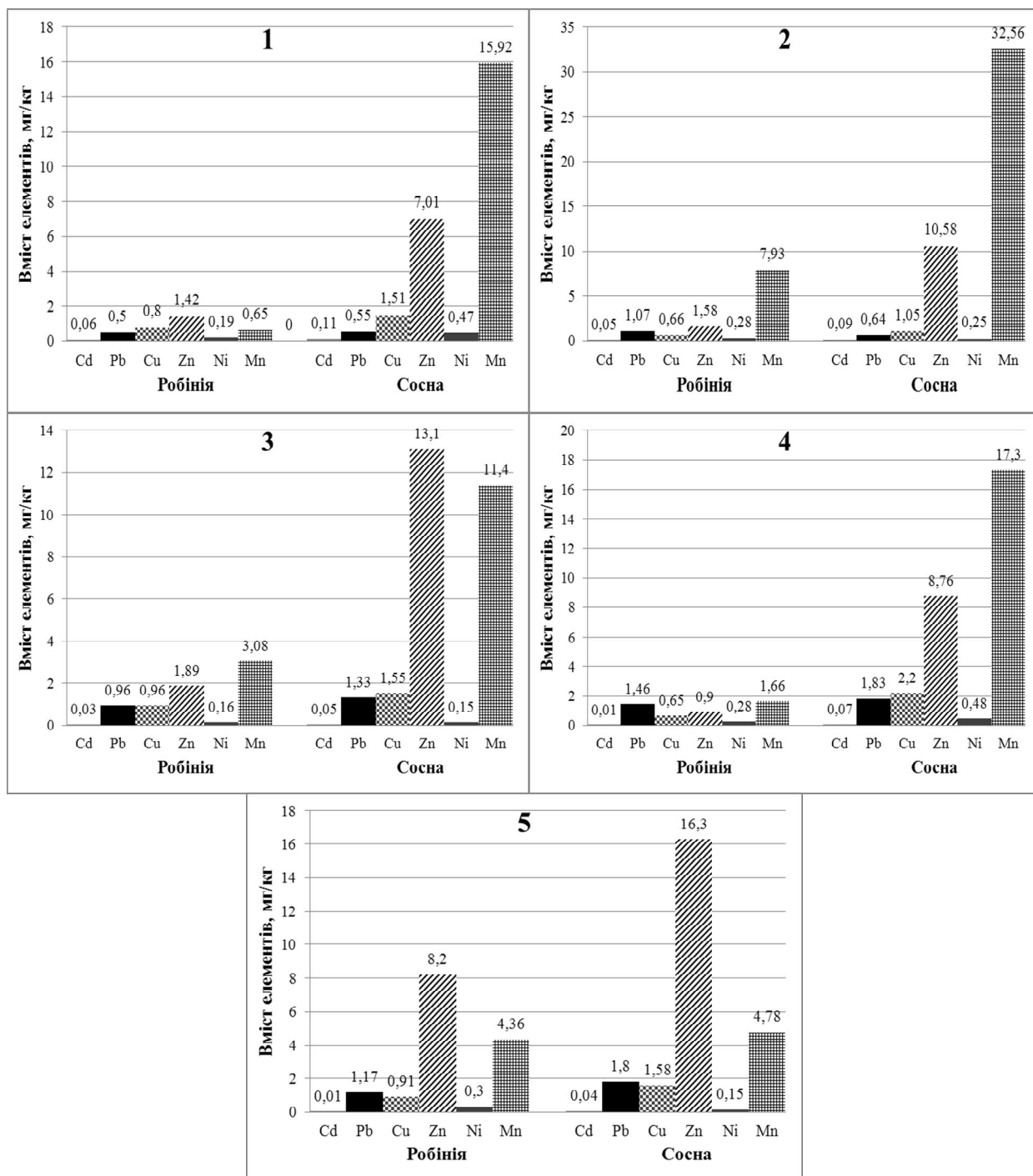


Рис. 2. Вміст елементів групи важких металів у деревині робінії несправжньоакації та сосни звичайної в різних локалітетах рекреаційно-оздоровчих лісів Північного Придніпровського Степу України

Результати наших досліджень показали, що фактичний вміст нікелю у деревині двох досліджуваних порід є досить низьким із діапазоном значень для робінії 0,159–0,296 мг/кг, сосни – 0,147–0,482 мг/кг. Найменшу концентрацію цього металу зафіксовано в деревині як екземплярів робінії, так і сосни у віці 12

років, у 3-му локалітеті рекреаційних лісів смт. Кіровське. Максимальна акумуляція Ni визначена для екземплярів сосни 45 років, для робінії – для наймолодших рослин 3-річного віку. Отже, як свідчать наведені дані, закономірностей накопичення цього металу з віком встановлено не було.

Абсолютні величини марганцю як у представників робінії несправжньоакації, так і сосни звичайної, є найвищими на всіх вивчених ділянках. Діапазон значень вмісту цього мікроелементу коливається від 0,645 до 7,936 мг/кг у робінії, та від 4,782 до 32,563 мг/кг у сосни. Результати показують переважання вмісту даного металу в чотири рази у сосни, порівняно із робінією, за максимальним показником – в екземплярів досліджуваних порід віком 31 та 24 роки.

Висновки

1. Встановлено, що сосна звичайна та робінія несправжньоакація в деревині накопичують кадмій, що не є обов'язковим мікроелементом рослин: концентрування цього елемента збільшується із віком в обох порід.

2. Наявна чітка тенденція мінімізації вмісту цинку з віком у деревині досліджуваних порід. Показники накопичення цинку в деревині сосни звичайної перевищують максимальне значення в деревині робінії. Результатами наших досліджень підтверджено гіпотезу щодо антагоністичної взаємодії кадмію та цинку.

3. Найбільший показник концентрацій купруму встановлено для рослин у віці 45 років. Тенденції щодо його концентрування з віком виявлено не було.

4. У всіх досліджуваних зразках деревини виявлено вміст плюмбума, що вказує на потенційне забруднення навколишнього середовища свинцем та дозволяє розглядати досліджувані породи як депонатори цього металу.

5. Фактичний вміст нікелю в деревині двох досліджуваних порід був найнижчим серед металів, що визначались і знаходиться в межах фізіологічної норми.

6. Максимальною здатністю до депонування в деревині характеризувався манган; найвищі значення цього металу зафіксовані для середньовікової сосни.

7. Головні лісотвірні породи природних та штучних лісів Північного Придніпровського Степу – сосну звичайну та робінію несправжньоакацію можна розглядати як трансформатори кругообігу групи важких металів та селективні депонатори токсичних елементів за умови їх надмірних концентрацій у навколишньому середовищі.

Список літератури

1. Алексеев Ю. В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях : [монографія] / Алексеев Ю. В. – Л. : Агропромиздат. Ленинград. отд-ние, 1987. – 142 с.
2. Грабовський О. В. Акумуляція важких металів ґрунтом та рослинними об'єктами в умовах антропогенного навантаження / О. В. Грабовський, В. Г. Рошко, О. І. Ніколайчук // Наук. вісник УжДУ. Серія Біологія. – Ужгород, 2000. – № 8. – С. 158–160.
3. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: [монографія] / Кошкин Е. И. – М. : Дрофа, 2010. – 638 с.
4. Мельник Н. М. Стан пилку деревних рослин у промислових зонах міста Чернівці / Н. М. Мельник, Т. В. Морозова // Наукові основи збереження біотичної різноманітності: тематичний зб. Ін-ту екології Карпат НАН України. – Львів : Ліга-Прес, 2006. – Вип. 7. – С. 54–60.
5. Микроэлементы: поступление, транспорт и физиологические функции в растениях : [монографія] / [Є. В. Рудакова, К. Д. Каракис, Т. Н. Сидоршина и др.]. – К. : Наук. думка, 1987. – 184 с.
6. Савушкина И. Г. Динамика содержания некоторых тяжелых металлов в почве и фитомассе дуба пушистого / И. Г. Савушкина // Ґрунтознавство. 2006. – Т. 7, № 3–4. – С. 137–145.
7. Серегин И. В. Гистохимические методы изучения распределения Cd и Pb в растениях / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 1997. – Т.44, № 6. – С. 915–921.

8. Серегин И.В. Передвижение ионов Cd и Pb по тканям корня / И. В. Серегин, В. Б. Иванов // Физиология растений. – 1998. – Т. 45, № 6. – С. 899–905.
9. Arazi T. Atobacco plasma membrane calmodulin-binding transporter confers Ni²⁺ tolerance and Pb²⁺ hypersensitivity in transgenic plants / [T. Arazi, R. Sunkar, B. Kaplan et al.] // The Plant Journal. – 1999. – Vol. 20, №2. – P. 171–182.
10. Brown P.H. Effect of nickel deficiency on soluble anion, amino acid and nitrogen levels in barley / P.H. Brown, R.M. Welch, J.T. Madison // Plant Soil. – 1990. – Vol. 125. – P. 19–27.
11. Bunluesin S. Influences of cadmium and zinc interaction and humic acid on metal accumulation in *Ceratophyllum demersum* / [S. Bunluesin, P. Pokethitiyook, G.R. Lanza et al.] // Water, Air, and Soil Pollut. – 2007. – 180, № 1-4. – P. 225–235.
12. Das P. Studies of cadmium toxicity in plants: a review / P. Das, S. Samantaray, G.R. Rout // Environ. Pollut. – 1997. – Vol. 98, № 1. – P. 29–36.
13. Iretskaya S.N. Effect of acidulation of high cadmium containing phosphate rocks on cadmium up take by upland rice / S.N. Iretskaya, S.H. Chien, R.G. Menon // Plant and Soil. – 1998. – Vol. 201. – P. 183–188.
14. Isermann K. Method to reduce contamination and uptake of lead by plants from car exhaust gases / K. Isermann // Environ. Pollut. – 1977. – Vol. 12. – P. 199–208.
15. Jiang W. Hyperaccumulation of lead by roots, hypocotyls, and shoots of *Brassica juncea* / W. Jiang, D. Liu, W. Hou // Biol Plant. – 2000. – Vol. 43, №4. – P. 603–606.
16. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias, H. Pendias. – CRC Press, 2001. – 432 p.
17. Lin Q. Chemical behaviour of Cd, Pb, and their cooperation in a rhizosphere and in soil / [Q. Lin, H.-M. Chen, C.-R. Zheng et al.] // J. Zhejiang Univ. Agr. And Life Sci. – 2000. – Vol. 26, №5. – P. 527–532.

18. Moral R. Distribution and accumulation of heavy metals (Cd, Ni and Cr) in tomato plants / [R. Moral, G. Palacios, I. Gomes et al.] // Fresenius Environ. Bull. – 1994. – Vol. 3. – P. 395–399.
19. Reid R.J. Cadmium loading into potato tubers: the roles of the periderm, xylem and phloem / R.H. Reid, K.R. Dunbar, M.J. McLaughlin // Plant, Cell and Environ. – 2003. – Vol. 26, №2. – P. 201–206.
20. Ross S.M. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils / S.M. Ross // Toxic metals in soil-plant system. – N.Y.: Wiley, 1994. – P. 63–152.
21. Prasad M.N.W. Metals in the environment – analysis by biodiversity / Prasad M.N.W. – N.Y.: Marcel Dekker. 2001. – 504 p.
22. Prasad M.N.W. Heavy metal stress in plants – from molecules of ecosystems / M.N.W. Prasad, J. Hagamayer. – Berlin: Springer, 1999. – 401 p.
23. Zhang L. Influence of zinc bringing in soil on cadmium absorption and accumulation of the maize plants at the different cadmium concentrations / L. Zhang, F. Song // J. Agro-Environ. Sci. – 2005. – Vol. 24, № 6. – P. 1054–1058.

Проанализировано содержание элементов группы тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn) в древесине сосны обыкновенной и робинии лжеакации в рекреационно-оздоровительных лесах Северной Приднепровской Степи Украины. Выявлено более существенное накопление тяжелых металлов в древесине сосны, по сравнению с робинией.

Ключевые слова: Северная Приднепровская Степь, сосна обыкновенная, робиния псевдоакация, аккумуляция тяжелых металлов.

A content of the elements the group of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Mn) in wood of Scots pine and black locust of Northern Pridneprovskiy Steppe analyzed. More significant accumulation of heavy metals in pine's timber, compared to black locust was identified.

Keywords: Northern Pridneprovskiy Steppe, Scots pine, black locust, accumulation of heavy metals.