

УДК 504.5:546.47]:631.421

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЕЛЕМЕНТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТІВ УРБООКОСИСТЕМИ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

ЯКОВИШИНА Т. Ф., канд. с.-г. наук, доц.

Кафедра екології та охорони навколишнього середовища, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. +38 (0562) 46-93-71, e-mail: t_yakovyshyna@ukr.net, ORCID ID: [0000-0002-5924-7847](https://orcid.org/0000-0002-5924-7847)

Анотація. Постановка проблеми. Стійкий розвиток урбоєкосистем з урахуванням забезпечення норм екологічної безпеки життєдіяльності людини в межах міста та раціонального використання і відновлення природноресурсного потенціалу території потребує пошуку ефективних методів характеристики ступеня гостроти екологічної ситуації. В умовах прогресуючого пресингу на навколишнє середовище провідна роль належить методам математичної статистики як інструменту, що дає можливість дослідження і детального аналізу екологічних систем різного рівня складності. З усіх абіотичних складових довкілля ґрунту приділено найменшу увагу, що пов'язано, по-перше, з неоднозначністю характеристики екологічної ситуації за валовим вмістом елемента-забруднювача, а, по-друге, з проблемою вибору його додаткових форм, за якими буде здійснено статистичний аналіз. **Мета статті** - обґрунтування використання в системі екомоніторингу методів математичної статистики поряд із загально прийнятими для характеристики поелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми важкими металами шляхом визначення статистичних характеристик та встановлення зв'язків між валовим вмістом, потенційно-рухомими та рухомими формами на прикладі забруднення м. Дніпро. Для визначення поелементного забруднення Zn використовували його валовий вміст, потенційно-рухомі та рухомі форми. Масив даних щодо вмісту досліджуваних форм Zn був одержаний в мережі екологічного моніторингу ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро: розмір сітки (2 км × 2 км), загальна кількість ключових ділянок відбору проб – 65. У відібраних зразках визначали валовий вміст Zn атомно-абсорбційним методом після кислотної обробки ґрунту, її потенційно-рухомі форми у витягу 1 Н НСl, а рухомі форми – у ААБ (рН 4,8) за стандартними методиками. Для встановлення закономірностей поширення Zn по території застосовували методи математичної статистики та пакет прикладних програм Microsoft Excel 2010. **Висновок.** Науково підтверджено доцільність застосування методів математичної статистики для характеристики масивів даних, як первинних величин, у блоці оцінки системи екомоніторингу забруднення важкими металами ґрунтів урбоєкосистем. Виявлено інтенсивне техногенне забруднення Zn ґрунтів усієї території м. Дніпро відносно валового вмісту та збільшення строкатості забруднення за потенційно-рухомими та рухомими формами за допомогою статистичних методів та під час нормування за санітарно-гігієнічними (ГДК) та екологічними показниками (природний геохімічний фон). Установлено тісний кореляційний зв'язок між валовим вмістом Zn у ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро та потенційно-рухомими формами, на відміну від рухомих форм, де він не простежувався, що свідчить про вибіркове спрацювання механізмів буферності відносно Zn.

Ключові слова: методи математичної статистики; ґрунт; важкі метали; екологічна оцінка; забруднення

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЭЛЕМЕНТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ УРБООКОСИСТЕМЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

ЯКОВИШИНА Т. Ф., канд. с.-х. наук, доц.

Кафедра экологии и охраны окружающей среды, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. +38 (0562) 46-93-71, e-mail: t_yakovyshyna@ukr.net, ORCID ID: [0000-0002-5924-7847](https://orcid.org/0000-0002-5924-7847)

Аннотация. Постановка проблемы. Устойчивое развитие урбоэкоосистем с учетом обеспечения норм экологической безопасности жизнедеятельности человека в пределах города и рационального использования и восстановления природно-ресурсного потенциала территории требует поиска эффективных методов характеристики степени остроты экологической ситуации. В условиях прогрессирующего прессинга на окружающую среду ведущая роль принадлежит методам математической статистики как инструмента, который позволяет исследовать и детально проанализировать экологические системы различного уровня сложности. Из всех абіотических составляющих окружающей среды почвам уделено наименьшее внимание, что связано, во-первых, с неоднозначностью характеристики экологической ситуации по валовому содержанию элемента-загрязнителя, а, во-вторых, с проблемой выбора его дополнительных форм, по которым будет осуществлен статистический анализ. **Цель статьи** – обоснование использования в системе экомониторинга методов математической статистики наряду с общепринятыми для характеристики поэлементного загрязнения почв урбоэкоосистемы тяжелыми металлами путем определения статистических характеристик и установления связей

между валовым содержанием, потенциально подвижными и подвижными формами на примере загрязнения Zn г. Днепр. Для определения поэлементного загрязнения Zn использовали его валовое содержание, потенциально подвижные и подвижные формы. Массив данных по содержанию изучаемых форм Zn был получен в сети экологического мониторинга почв урбоэкосистемы г. Днепр: размер сетки (2 км × 2 км), общее количество ключевых участков отбора проб – 65. В отобранных образцах определяли валовое содержание Zn атомно-абсорбционным методом после кислотной обработки почвы, ее потенциально подвижные формы в извлечении 1 Н HCl, а подвижные формы – в ААБ (рН 4,8) по стандартным методикам. Для установления закономерностей распространения Zn по территории использовали методы математической статистики и пакет прикладных программ Microsoft Excel 2010. **Вывод.** Научно подтверждена целесообразность использования методов математической статистики для характеристики массивов данных как первичных величин в блоке оценки системы экомониторинга загрязнения тяжелыми металлами почв урбоэкосистем. Выявлено интенсивное техногенное загрязнение Zn почв всей территории г. Днепр относительно валового содержания и увеличение пестроты загрязнения потенциально-подвижными и подвижными формами с помощью статистических методов и при нормировании по санитарно-гигиеническим (ПДК) и экологическим показателям (природный геохимический фон). Установлена тесная корреляционная связь между валовым содержанием Zn в почвах урбоэкосистемы г. Днепр и потенциально-подвижными формами, в отличие от подвижных форм, где она не наблюдалась, что свидетельствует о выборочной утрате механизмов буферности относительно Zn.

Ключевые слова: *методы математической статистики; почва; тяжелые металлы; экологическая оценка; загрязнение*

USING OF THE MATHEMATICAL STATISTICS METHODS FOR THE CHARACTERISTIC OF THE ELEMENTAL CONTAMINATION URBAN ECOSYSTEMS SOILS BY THE HEAVY METALS

YAKOVYSHYNA T. F., *Cand. Sc. (Agr.), Ass. Prof.*

Department of Ecology and Environmental Protection, State Higher Education Establishment «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-93-71, e-mail: t_yakovyshyna@ukr.net, ORCID ID: [0000-0002-5924-7847](https://orcid.org/0000-0002-5924-7847)

Summary. Raising of problem. Sustainable development of the urban ecosystems, taking into account the provision of ecological safety standards for the human life within the city and the rational use and restoration of the resource potential of the territory, requires the search for effective methods of the characteristic of the ecological situation. In the conditions of the progressive pressure to the environment, the leading role belongs to the mathematical statistics methods, as a tool that allows us to examine and analyze in detail ecological systems of the various complexity. Of all the environmental abiotic components, soils have been given the least attention, which is due, firstly, to the ambiguous characteristic of the environmental situation according to the total content of the contaminant, and secondly, to the problem of choice its additional forms for the statistical analysis. **Purpose.** Substantial using of the mathematical statistics methods in the ecomonitoring system along with the generally accepted for the characterization of the elemental soil contamination of the urban ecosystem by the heavy metals, by determining the statistical characteristics and establishing relationships between the total content, potentially available and available forms by the example of Zn contamination in the Dnieper. The total content, potentially available and available forms have been used to determine the elemental Zn contamination. An array of the content data of the studied Zn forms has been obtained in the network of ecological monitoring of soils of the Dnieper urban ecosystem: grid (2 km × 2 km), key sampling sites – 65. In the selected samples, the Zn total content has been determined by the atomic absorption method after acidizing the soil, its potentially available forms in the extraction of 1 Н HCl, and the available forms in ААБ (рН 4.8) by standard methods. The mathematical statistics methods and the application package Microsoft Excel 2010 has been used to determine the patterns of Zn distribution of the across the territory. **Conclusion.** The using of the mathematical statistics methods for characterizing data sets, as primary values, has been scientifically confirmed in the block for estimating the ecomonitoring system of the heavy metals contamination of the urban ecosystems soils. The intensive technogenic Zn contamination soils of the whole Dnieper territory according to the total content and the increase in the contamination variegation by the potentially available and available forms have been revealed using statistical methods and in the rationing of the sanitary- hygienic (MAC) and ecological indicators (natural geochemical background). A close correlation has been established between the total Zn content in the soils of Dnieper urban ecosystem and the potentially available forms, in contrast to the available forms, where it has been not observed, which indicates a selective loss of buffer mechanisms relative to Zn.

Keywords: *methods of the mathematical statistics; soil; heavy metals; ecological assessment; contamination*

Вступ. Стійкий розвиток урбоекосистем людини в межах міста та раціонального з урахуванням забезпечення норм використання і відновлення природно-екологічної безпеки життєдіяльності ресурсного потенціалу території потребує

пошуку ефективних методів характеристики ступеня гостроти екологічної ситуації. В умовах прогресуючого пресингу на навколишнє середовище провідна роль належить методам математичної статистики, як інструменту, що надає можливість дослідження і детального аналізу екологічних систем різного рівня складності [1]. З усіх абіотичних складових доквілля ґрунту приділено найменшу увагу, що пов'язано, по-перше, з неоднозначністю характеристики екологічної ситуації за валовим вмістом елемента-забруднювача, а, по-друге, з проблемою вибору його додаткових форм, за якими буде здійснено статистичний аналіз.

Аналіз публікацій. Первинні виміри або прості індикатори за Д. Ю. Райчуком та А. О. Музалевським (2015) мають фундаментальне значення у фізиці (фізичний вимір ваги, об'єму – для ґрунту, біометричні параметри – для рослин [2], проте для оцінювання якості абіотичних та біотичних складових навколишнього середовища не мають екологічного сенсу [3]. Екологічні величини здебільшого одержують шляхом розрахунку індексних виразів – відносних статистичних величин, котрі показують, наскільки рівень досліджуваного явища в конкретних умовах відрізняється від рівня того ж явища в нативних умовах [4], отже задаються суб'єктивно визначеною схемою, приміром, по відносно забруднення ґрунту важкими металами – це буде частка техногенності металу (S. Baron, 2006) [5], коефіцієнти концентрації (В. В. Добровольський, 1999; К. А. Ghazaryan, 2015) [6, 7] та безпеки (Н. А. Богданов, 2013) [8].

Їх подальше перетворення на агреговані, інтегральні або комплексні величини (сумарний показник забруднення [6; 7], індекс забруднення ґрунту [8], інтегрований показник біологічного стану [9] дає змогу категоріально оцінити ступінь небезпеки забруднення, проте виникає загроза суб'єктивізму. А саме: у разі нормування на основі природно-геохімічного фону – достатній рівень усереднення в межах зонального ґрунту з урахуванням факторів

часу, а випадку використанні ГДК – питання виникають відносно встановленого рівня токсичності, адже достеменно відомі випадки перегляду цього санітарно-гігієнічного нормативу в бік зменшення.

Вказані характеристики необхідні для визначення ступеня екологічної небезпеки забруднення складових урбоєкосистеми під час проведення екомоніторингу, проте недостатні для вивчення причинно-наслідкового механізму, формування варіації та динаміки прояву небажаних явищ та процесів із подальшим їх прогнозуванням, котре доречніше здійснювати спираючись на статистичний аналіз первинних вимірів. Тому виникає потреба включення його до системи оцінювання для одержання всебічної характеристики досліджуваного явища.

Мета роботи полягала в обґрунтуванні використання в системі екомоніторингу методів математичної статистики поряд із загальноприйнятими для характеристики поелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми важкими металами, шляхом визначення статистичних характеристик та встановлення зв'язків між валовим вмістом, потенційно-рухомими та рухомими формами на прикладі забруднення Zn м. Дніпро.

Методика. Серед важких металів – пріоритетних забруднювачів урбоєкосистеми м. Дніпро як показовий був обраний Zn, адже його біологічна роль як мікроелемента і токсиканта, залежно від концентрації, добре відома, а внесок в аерогенне забруднення міста, спричинений антропогенною діяльністю, досить значний.

Для характеристики поелементного забруднення Zn використовували його валовий вміст для оцінювання загальної кількості елемента; потенційно-рухомі форми, що відповідали за можливу загрозу забруднення в разі зміни ґрунтових умов; та рухомі форми, котрі характеризували реальне забруднення як його міграційну здатність та включення в трофічні ланцюги урбоєкосистеми.

Масив даних щодо вмісту досліджуваних форм Zn одержано в мережі

екологічного моніторингу ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро: розмір сітки (2 км × 2 км), загальна кількість ключових ділянок відбору проб – 65, з яких за характером функціонального призначення припадало на промислову зону – 9, висотну забудову – 13, приватний сектор – 26, зелену (рекреаційну) зону – 17. Проби ґрунту відбирали методом конверта з глибини 0-10 см, репрезентативна проба складалася з 25 індивідуальних проб [10].

У відібраних зразках визначали валовий вміст Zn атомно-абсорбційним методом після кислотної обробки ґрунту, її потенційно-рухомі форми у витягу 1 Н НСІ, а рухомі форми – у ААБ (рН 4,8) за стандартними методиками [11; 12]. Для встановлення закономірностей розповсюдження Zn по території урбоєкосистеми м. Дніпро застосовували методи математичної статистики [13] та пакет прикладних програм Microsoft Excel 2010.

Результати досліджень. Значення кларка в літосфері для Zn становить $8,3 \cdot 10^{-3} \%$ [14], а в ґрунті – $5,0 \cdot 10^{-3} \%$, за умов фонові концентрації в чорноземах звичайних малогумусних важкосуглинкових 34-100 мг/кг, за середнього значення 63 мг/кг та коефіцієнті варіації 28,8 [15], тобто верхнє значення межує з ГДК.

Поширення Zn уздовж ґрунтового профілю зазвичай рівномірне, невеличкі коливання можуть бути пов'язані з вмістом органічної речовини, глинистої фракції та карбонатів. Динамічна рівновага між вмістом різних форм Zn у ґрунті визначається такими процесами як: адсорбція; оклюзія та співосадження; утворення органічних хелатів і комплексоутворення; мікробіологічна фіксація тощо. Переважним чином у ґрунтах Zn асоціюється з гідроокисдами Fe, Al та глинистими мінералами. В межах урбоєкосистеми, за зміни рівня рН ґрунтового середовища в той чи інший бік, слід зважати на два механізми адсорбції Zn: у разі підкисленню через осадження фізіологічно кислих сполук викидів промислових підприємств він буде пов'язаний з катіонним обміном і, навпаки,

у випадку збільшення лужності через включення решток будівельного сміття розглядається як хемосорбція, котра значною мірою залежить від кількості органічних лігандів.

Найбільшою селективністю адсорбції Zn характеризуються оксиди Fe, галуазит, алофан та імоголіт, а найменшою – монтморилоніт [16]. Також Zn може входити в кристалічну решітку деяких мінералів, приміром, того ж монтморилоніту. Серед факторів, що контролюють розчинність, а отже і трансформацію Zn у ґрунтах, в загальному механізмі буферності перевагу мають вміст глинистих мінералів, гідроокисидів Fe і Al, величина рН, над утворенням органічних комплексів і осадженням у вигляді фосфатів, карбонатів та сульфідів.

Рівень концентрації Zn у зональних ґрунтах степової зони України – чорноземах звичайних пов'язаний з його високим вмістом у лесах, а відхилення від загального фону пов'язані з впливом ґрунтовірних порід, так, у лесі важкосуглинковому вміст Zn вищий (63 мг/кг), ніж у глинистому (54 мг/кг) [15].

Підвищення вмісту цинку в ґрунтах урбоєкосистеми зумовлюється наявністю промислових підприємств із виробництва кольорових металів, чавуну і сталі, скла і цементу, а також роботи ТЕС і автотранспорту. В останньому випадку це пов'язано із стиранням деталей, ерозією оцинкованих поверхонь, зносом шин, використанням в мастилах присадок, котрі містять у своєму складі сполуки Zn. Загальний викид цинку в атмосферне повітря від стаціонарних джерел у кількості 13 промислових підприємств дорівнює 4,404 т, що в перерахунку на 1 км² площі міста становить близько 0,011 т або 0,0044 кг на душу населення (дані Головного управління статистики в Дніпропетровській області).

Природний геохімічний фон Zn у зональному ґрунті – чорноземі звичайному становить для валового вмісту – 39,60 мг/кг, потенційно рухомих форм – 21,70 та рухомих форм – 1,08 мг/кг відповідно

(Ерастівська дослідна станція Інституту сільського господарства степової зони Національної академії аграрних наук України). Вміст валового Zn у ґрунтах м. Дніпро становив від 15,27 до 959,11 мг/кг за урбанізованого геохімічного фону на рівні 290,99 мг/кг або 2,9 ГДК (табл.), що, за умов першого ступеня токсичності, відповідало другому ступеню деградації за В. В. Снакіним (1992) [17].

Таблиця

Характеристика вмісту Zn у ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро / Characteristics of the Zn content in the soils of the Dnipro urban ecosystem

Показник	Валовий вміст, мг/кг	Потенційно-рухомі форми, мг/кг	Рухомі форми, мг/кг
Мінімум	15,27	3,09	2,16
Максимум	959,11	921,14	836,16
Середнє	290,99	217,96	64,49
Медіана	215,71	139,09	28,24
Ексцес	0,1092	1,51	30,60
Асиметрія	0,9949	1,32	5,05
Дисперсія	55 909,24	39 357,86	13 491,90
Стандартне відхилення	238,29	199,93	117,06
Розмах	943,84	918,05	834,00

Забруднення Zn ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро характеризувалось підвищеною рухомістю, а саме, вміст потенційно-рухомих форм сягав 99 % та рухомих – 87 % від валу відповідно. Потенційно-рухомі форми Zn варіювали в досить широких межах, так, максимальний вміст був у 307 разів вищий за мінімальний, в той час як значення урбанізованого фону перевищувало природний на один порядок. Урбанізований геохімічний фон за рухомими формами перевищував природний до 60 разів та ГДК у 2,8 раза. Між валовим вмістом та потенційно-рухомими формами встановлено тісний кореляційний зв'язок (0,945), в той час як відносно рухомих форм він не простежувався, що свідчить про вибіркове, за окремими ділянками відбору проб, спрацювання механізмів буферності відносно Zn.

У досліджуваних форм Zn середнє значення було більше за медіану від 1,35 до

2,28 раза, що свідчило про наявність масштабного прогресуючого забруднення цим елементом території м. Дніпро. Таке значне переважання середнього значення над медіаною за досліджуваними формами Zn свідчить про підвищення рухомості, що в більшості випадків було вище природного геохімічного фону та значень ГДК (табл.). Згідно з коефіцієнтом ексцесу, спостерігався гостровершинний розподіл щодо потенційно-рухомих та рухомих форм, у випадку із валовим вмістом крива характеризувалась слабкою ексцесивністю.

Так, згідно з В. В. Тарасовою (2008), коефіцієнт ексцесу склав $< 0,4$ [13]. Коефіцієнт асиметрії, що відбиває ступінь відхилення розподілу від симетричного був вищим 0, що свідчило про його правосторонній характер, однак значного зміщення не зафіксовано. Навпаки, за валовим Zn асиметрія незначна. Детальний аналіз статистичних характеристик свідчить про інтенсивне техногенне забруднення цинком ґрунтів усієї території м. Дніпро відносно валового вмісту та збільшення строкатості забруднення за потенційно-рухомими та рухомими формами внаслідок часткового порушення буферних властивостей у процесі створення та функціонування урбоєкосистеми.

Висновки

1. Науково підтверджена доцільність застосування методів математичної статистики для характеристики масивів даних як первинних величин у блоці оцінки системи екомоніторингу забруднення важкими металами ґрунтів урбоєкосистем.

2. Виявлено інтенсивне техногенне забруднення Zn ґрунтів усієї території м. Дніпро відносно валового вмісту та збільшення строкатості забруднення за потенційно-рухомими та рухомими формами за допомогою статистичних методів та під час нормування за санітарно-гігієнічними (ГДК) та екологічними показниками (природний геохімічний фон).

3. Установлено тісний кореляційний зв'язок між валовим вмістом Zn у ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро та потенційно-рухомими формами, на відміну від рухомих

форм, де він не простежувався, що свідчить про вибіркове спрацювання механізмів буферності відносно Zn.

Подальші дослідження потрібно зосередити на розробленні комплексної

системи оцінювання в межах екомоніторингу абіотичних складових урбоєкосистеми із залученням до її складу пріоритетних забруднювачів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Кондратьева Т. А. Статистический анализ и моделирование экологических процессов в водных экосистемах на примере р. Казанка / Т. А. Кондратьева, Ю. В. Максимов, Р. Н. Исмаилова // Вестник Казанского технического университета. – 2013. – Вып. 21, т. 16. – С. 309–314.
2. Райчук Д. Ю. Индикаторно-рискологический подход к оценке эффективности деятельности научных организационных систем / Д. Ю. Райчук, А. А. Музалевский // Университетский научный журнал. Физико-математические, технические и биологические науки / Санкт-Петербург. ун-т. консорциум. – 2015. – Вып. 15. – С. 108–118.
3. Розенберг Г. С. Процедуры измерения в системе “основания” экологической теории / Г. С. Розенберг // Теоретические проблемы экологии и эволюции (Вторые Люблинские чтения) / Ин-т экологии Волж. бассейна Рос. акад. наук. – Тольятти, 1995. – С. 47–57.
4. Статистический анализ индекса развития человеческого потенциала / Н. В. Костина, Г. С. Розенберг, Г. Р. Хасаев, Г. В. Шляхтин // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. – 2014. – Вып. 3, т. 14. – С. 54–69.
5. Baron S. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soil from 800-years-old pollution (Mont-Lozere, France) / S. Baron, J. Carignan, A. Ploquin // Environmental Science & Technology. – 2006. – Vol. 40. – P. 5319–5326.
6. Добровольский В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами / В. В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639–645.
7. The evaluation of the heavy metal pollution degree in the soil around the Zangzur copper and molubdenum combine / K. A. Ghazaryan, G. A. Gevorgyan, H. S. Movsesyyan, N. P. Ghazaryan, K. V. Grigoryan // International journal of environmental, chemical, ecological, geological and geophysical engineering. – 2015. – Vol. 5. – P. 405–410.
8. Богданов Н. А. Метод оценки состояния земель по индексу загрязнения почв / Н. А. Богданов, Ю. С. Чуйков, В. С. Рыбкин // Астраханский вестник экологического образования. – 2013. – № 1(23). – С. 102–112.
9. Kolesnikov S. I. The effect of model soil contamination with Cr, Cu, Ni and Pb on the biological properties of soil in the Dry Steppe and Semidesert Regions of Southern Russia / S. I. Kolesnikov, N. A. Spivakova, K. Sh. Kazeev // Eurasian soil science. – 2011. – Vol. 44, № 9. – P. 1001–1007.
10. Яковишина Т. Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем / Т. Ф. Яковишина. – Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2013. – 101 с.
11. Методи аналізу ґрунту і рослин : метод. посіб. / за заг. ред. С. Ю. Булигіна. – Харків : Ін-т ґрунтознавства і агрохімії ім. О.Н. Соколовського, 1999. – 157 с.
12. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства / М-во сел. хоз-ва Рос. Федерации, Центр. ин-т агрохим. обслуживания сел. хоз-ва. – Москва, 1992. – 61 с.
13. Тарасова В. В. Екологічна статистика / В. В. Тарасова. – Київ : Центр учбової літ., 2008. – 392 с.
14. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов / А. П. Виноградов. – Москва : Изд-во АН СССР. – 1957. – 276 с.
15. Фононий вміст мікроелементів у ґрунтах України / за ред. А. І. Фатеев, Я. В. Пашенко. – Харків : [б.в.], 2003. – 117 с.
16. Водяницкий Ю. Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах / Ю. Н. Водяницкий. – Москва : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2009. – 96 с.
17. Снакин В. В. Химическое загрязнение почв и возможность его нормирования / В. В. Снакин // Теоретические основы охраны почв : сб. науч. тр. / Науч.-исслед. ин-т охраны природы. – Москва, 1992. – С. 17–21.

REFERENCES

1. Kondrateva T.A., Maksimov Yu.V. and Ismailova R.N. *Statisticheskij analiz i modelirovanie ekologicheskix processov v vodnyx ekosistemax na primere r. Kazanka* [Statistical analysis and modeling of ecological processes in aquatic ecosystems r. Kazanka]. *Vestnik Kazanskogo texnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kazan Technical University]. 2013, iss. 21, vol. 16, pp. 309–314. (in Russian).
2. Rajchuk D.Yu. and Muzalevskij A.A. *Indikatorno-riskologicheskij podxod k ocenke effektivnosti deyatel'nosti nauchnyx organizatsionnyx sistem* [Indicator-risk approach to assessing the effectiveness activities of the scientific organizational systems]. *Universitetskij nauchnyj zhurnal. Ser. Fiziko-matematicheskie, texnicheskie i biologicheskie nauki* [Universi-

- ty scientific journal. Series physical-mathematical, technical and biological sciences]. Sankt-Peterburg un-t. konsorcium [Sankt-Petersburg University Konsortium]. 2015, iss. 15, pp. 108–118. (in Russian).
3. Rozener G.S. *Protsedury izmereniya v sisteme "osnovaniya" ekologicheskoy teorii* [Measurement procedures in the "foundation" system of the ecological theory]. *Teoreticheskie problemy ekologii i evolyucii (Vtorye Lyubishchevskie chteniya)* [Theoretical problems of ecology and evolution (Second Lyubishchev's readings)]. In-t ekologii Volzh. basejna Ros. akad. nauk [Institute of Ecology of Volzhski Basin of Scientific Academy of Russia]. Tolyatti, 1995, pp. 47–57. (in Russian).
 4. Kostina N.V., Rozenberg G.S., Xasaev G.R. and Shlyaxtin G.V. *Statisticheskij analiz indeksa razvitiya chelovecheskogo potentsiala* [Statistical analysis of the human development index]. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Ser. Khimiya. Biologiya. Ekologiya* [Proceedings of the Saratov University. Series. Chemistry. Biology. Ecology.]. 2014, iss. 3, vol. 14, pp. 54–69. (in Russian).
 5. Baron S., Carignan J. and Ploquin A. *Dispersion of heavy metals (metalloids) in soil from 800-years-old pollution (Mont-Lozere, France)*. *Environmental Science & Technology*. 2006, vol. 40, pp. 5319–5326.
 6. Dobrovolskij V.V. *Landshaftno-geokhimiicheskie kriterii ocenki zagryazneniya pochvennogo pokrova tyazhelymi metallami* [Landscape-geochemical criteria for assessment of soil contamination by heavy metals]. *Pochvovedenie [Soil science]*. 1999, no. 5, pp. 639–645. (in Russian).
 7. Ghazaryan K.A., Gevorgyan G.A., Movsesyann H.S., Ghazaryan N.P. and Grigoryan K.V. *The evaluation of the heavy metal pollution degree in the soil around the Zangzur copper and molibdenum combine*. *International journal of environmental, chemical, ecological, geological and geophysical engineering*. 2015. vol. 5, pp. 405–410.
 8. Bogdanov N.A., Chujkov Yu.S. and Rybkin V.S. *Metod ocenki sostoyaniya zemel po indeksu zagryazneniya pochv* [Assessment method of land condition to the soil pollution index]. *Astrahanskij vestnik ekologicheskogo obrazovaniya* [Astrakhan bulletin of environmental education]. 2013, no 1(23), pp. 102–112. (in Russian).
 9. Kolesnikov S.I., Spivakova N.A. and Kazeev K.Sh. *The effect of model soil contamination with Cr, Cu, Ni and Pb on the biological properties of soil in the Dry Steppe and Semidesert Regions of Southern Russia*. *Eurasian soil science*. 2011, vol. 44, no 9, pp. 1001–1007. (in Russian).
 10. Yakovishyna T.F. *Ekolohichnyi monitorynh: kontrol i detoksykatsiia vazhkykh metaliv v gruntakh urboekosystem* [Ecological monitoring, control and detoxification of the heavy metals in soils of the urban ecosystems]. Dnipropetrovsk: Nova ideolohiia, 2013, 101 p. (in Ukrainian).
 11. Bulyhin S.Yu. *Metody analizu gruntu i roslyn* [Analysis methods of soil and plants]. Kharkiv: Instytut hruntoznavstva i ahrokhimii im. O.N. Sokolovskoho. 1999, 157 p. (in Ukrainian)
 12. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelykh metallov v pochvah sel'hozugodij i produkcii rastenievodstva* [Guidelines for determination of heavy metals in agricultural soils and crop production]. M-vo sel. hoz-va Ros. Federacii, Centr. in-t agroxim. obsluzhivaniya sel. hoz-va [Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Central Institute of Agricultural Agrochemical Services]. Moskva, 1992, 61 p. (in Russian).
 13. Tarasova V.V. *Ekolohichna statystyka* [Ecological statistics]. Kyiv: Centr uchbovoi literatury. 2008, 392 p. (in Ukrainian)
 14. Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkix i rasseyannyx elementov* [Geochemistry of rare and scattered elements]. Moskva: Izd-vo AN SSSR, 1957, 276 p. (in Russian).
 15. Fatieiev A.I. and Pashchenko I.V. *Fonovyi vmist mikroelementiv u gruntakh Ukrainy* [Background content of microelements in soils of Ukraine]. Kharkiv, 2003. 117 p. (in Ukrainian)
 16. Vodyanitskij Yu.N. *Tyazhelye i sverxtyazhelye metally i metalloidy v zagryaznennykh pochvax* [Heavy and superheavy metals and metalloids in contaminated soils]. Moskva: Pochv. institut im. V. V. Dokuchaeva, 2009, 96 p. (in Russian).
 17. Snakin V.V. *Khimicheskoe zagryaznenie pochv i vozmozhnost' ego normirovaniya* [Chemical pollution of soils and the possibility of rationing]. *Teoreticheskie osnovy ohranyi pochv* [Theoretical basis of soil protection]. Nauch.-issled. in-t ohrany prirody [Scientific-research institute of Nature Safety]. Moskva, 1992, pp. 17-21. (in Russian).

Рецензент: Шматков Г. Г. д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 29.03.2017 р. Прийнята до друку: 16.04.2017 р.