

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ОЛЕСЯ ГОНЧАРА

**ГУНЬКО СВІТЛАНА ОЛЕКСАНДРІВНА**

УДК 574.3+504.054:546.48

**ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ КАДМІЮ В ЕДАФОТОПАХ  
УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ м. КАМ'ЯНСЬКЕ**

03.00.16 – екологія

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі геоботаніки, ґрунтознавства та екології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник**

доктор біологічних наук, професор,

**Цветкова Ніна Миколаївна,**

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, кафедра геоботаніки, ґрунтознавства та екології, професор

**Офіційні опоненти:**

доктор біологічних наук, професор,

**Бессонова Валентина Петрівна,**

Дніпровський державний аграрно-економічний університет,  
кафедра садово-паркового господарства,  
професор

кандидат біологічних наук, доцент,

**Сараненко Інна Іванівна,**

Херсонський державний університет,  
кафедра географії та екології, доцент

Захист відбудеться «07» квітня 2021 р. о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.051.04 для захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара за адресою: 49010, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 72, корпус 17, біолого-екологічний факультет, ауд. 711.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Казакова, 8.

Автореферат розісланий «05» березня 2021 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

кандидат біологічних наук, доцент



А. О. Дубина

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Екологічні дослідження урбанізованих територій та оцінка стану міського середовища є пріоритетними напрямками науки сьогодення. Їх актуальність обумовлена необхідністю виявлення факторів і причин формування екологічної ситуації в містах, виділення суттєвих проблем і вивчення просторової диференціації урбанізованих територій з метою створення комфортного середовища проживання міського населення. Це стимулює розробку нових або удосконалення раніше розроблених показників інтегральної (комплексної) оцінки, застосування ГІС-технологій та ін. У більшості випадків сучасна оцінка якості навколишнього середовища базується лише на статистичних даних (рівень викидів, концентрація мікроелементів в ґрунті та ін.), які є доступними достатньо широкому колу суспільства, але не можуть повністю представити реальну екологічну ситуацію та надати уявлення про особливості просторової структури забруднення міської території.

В Україні, як державі з високорозвиненим промисловим виробництвом, є актуальною проблема забруднення компонентів навколишнього середовища надмірною кількістю важких металів. Місто Кам'янське відноситься до однієї з найпотужніших в Україні промислових агломерацій і є третім по значенню центром Дніпропетровської області. Кам'янське належить до міст України з вкрай небезпечною екологічною ситуацією, що сформувалася в результаті тривалого та інтенсивного розвитку металургійної, хімічної та машинобудівної галузей промисловості без урахування екологічних наслідків та шкоди для довкілля і здоров'я населення. Одним з найнебезпечніших хімічних елементів індустріального походження вважається елемент І класу небезпеки – кадмій (Cd).

Важливе значення кадмію як пріоритетного токсиканту вимагає постійного контролю. У попередні роки у місті Кам'янське вивчався вміст важких металів у шарі (0–10 см) ґрунтового покриву (Пасічний, Сердюк, 2004; Клименко, 2007; Цветкова та ін., 2016), але наявні на сьогодні дані є фрагментарними, неповними та розрізненими й потребують термінового доопрацювання.

Актуальність досліджень закономірностей розподілу Cd у едафотобах урбанізованих територій важлива також у плані розширення інформаційної бази спостережень і обумовлена необхідністю сучасного фактичного аналізу екологічного стану промислового міста Кам'янське.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами.** Дисертаційна робота виконана згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара в рамках комплексної теми «Теоретичні принципи еколого-типологічного управління природними лісами, створення захисних лісонасаджень на плакорних та деструктивних землях степу» № 3–190–09 (2009–2011рр.; № держреєстрації 0109U000139).

**Мета та завдання досліджень.** Метою дисертаційної роботи є оцінка вмісту, розповсюдження та з'ясування закономірностей розподілу кадмію в едафотобах урбанізованих територій м. Кам'янське.

Для досягнення мети поставлені такі завдання:

- 1) провести комплексний аналіз екоморфологічних, фізичних і хімічних властивостей едафотопів міста Кам'янське;
- 2) провести сучасну еколого-класифікаційну характеристику ґрунтів м. Кам'янське за рівнем забруднення кадмієм;
- 3) дослідити вміст, латеральний та радіальний розподіл кадмію в едафотопах м. Кам'янське;
- 4) встановити закономірності міграції кадмію в підсистемі «опад-лісова підстилка» у штучних деревних фітоценозах м. Кам'янське;
- 5) створити карти інтерполяції забруднення кадмієм едафотопів (валова та рухома форми) м. Кам'янське для оцінки та територіального прогнозування концентрації цього слідового елементу в ґрунтах міста;
- 6) оцінити екологічний стан ґрунтів за вмістом кадмію, з метою виявлення закономірностей його розподілу в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське з використанням програмного забезпечення ArcGIS модулю Spatial Analyst.

*Об'єкт дослідження* – едафотопи урбанізованих територій м. Кам'янське та еталонної ділянки.

*Предмет дослідження* – вміст, розповсюдження й закономірності розподілу кадмію в едафотопах міста Кам'янське.

*Методи дослідження:* класичні комплексні екологічні та геоботанічні методи польових досліджень і загальноприйняті методики лабораторних аналізів ґрунтів, опадів та підстилки. Вміст важких металів у ґрунтах, опаді та підстилці визначався методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Математичну обробку проведено згідно методів варіаційної статистики з використанням комплексних системних методів кореляційного та регресійного аналізів, рівень значущості 95 %. Моделювання процесу забруднення едафотопів і карти інтерполяції вмісту кадмію у ґрунтах створено за допомогою інструменту «Інтерполяція» продукту ArcGIS модулю Spatial Analyst методом ординарного крігінга.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

*Уперше:*

- вивчено екоморфологічні властивості едафотопів різних адміністративних районів та міста Кам'янське в цілому;
- досліджено вміст та латеральне і радіальне розповсюдження кадмію в едафотопах м. Кам'янське, надано екологічну оцінку ґрунтів міста за вмістом і розподілом у них кадмію за генетичними горизонтами до глибини 150 см;
- встановлено, що вміст кадмію в ґрунтах м. Кам'янське відрізняється просторовою неоднорідністю та коливається в достатньо широкому діапазоні;
- представлено сучасну еколого-класифікаційну характеристику ґрунтів Кам'янського в цілому та окремих адміністративних районів за рівнем забруднення кадмієм;
- встановлено взаємозв'язок між векторами забруднення плантоземів, природних порушених ґрунтів і рістоземів;
- проаналізовано міграцію та закономірності розподілу кадмію в підсистемі «опад-лісова підстилка»;

- побудовано карти інтерполяції забруднення ґрунтів кадмієм (валова та рухома форми) для оцінки та територіального прогнозування концентрації цього слідового елемента в м. Кам'янське;

*Удосконалено:*

- класифікацію ґрунтів урбанізованих територій за рівнем забруднення кадмієм;
- теоретичні засади комплексного оцінювання екологічного стану урбанізованих територій.

*Набули подальшого розвитку:*

- теорія взаємозв'язку вмісту та розповсюдження Cd з фізичними та хімічними властивостями ґрунтів;
- класифікація ґрунтів урбанізованих територій за вмістом і розповсюдженням кадмію.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати дисертаційної роботи впроваджені департаментом екології та природних ресурсів Кам'янської міської ради. Департаментом відмічено, що результати дослідження дають можливість проведення екологічної оцінки рівнів забруднення едафотопів урбанізованих територій кадмієм, здійснення сучасної еколого-класифікаційної характеристики ґрунтів м. Кам'янське за рівнем його забруднення та можуть бути враховані і задіяні в роботі виконавчих органів міста, є корисними при дослідженні впливу різних чинників довкілля (зокрема й антропогенного), для проведення спостережень у рамках екологічного моніторингу міста, розробки необхідних природоохоронних заходів в умовах забруднення ґрунтів кадмієм, програми «Адаптації міста до зміни клімату»

Матеріали дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара при викладанні дисциплін «Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище» і «Моделювання та прогнозування стану довкілля», та у Дніпровському державному технічному університеті – при викладанні дисциплін «Основи біогеохімії» та «Урбоекологія».

**Особистий внесок здобувача.** Дисертація є особистим науковим дослідженням автора. Опрацювання літературних джерел, розробка програми досліджень, обробка експериментального матеріалу, аналіз і узагальнення отриманих результатів, теоретичне обґрунтування матеріалу, а також висновки, що представлені в даній дисертації, проведено автором особисто впродовж 2008–2020 рр. Особистий внесок у написанні кожної наукової публікації зазначено у «Списку наукових праць за темою дисертації», права співавторства не порушено.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення роботи доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на: V міжнародній науковій конференції студентів і аспірантів «Молодь і поступ біології» (Львів, 2009), XIII міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (Київ, 2010), Международном форуме-конкурсе молодых ученых «Проблемы недропользования», (Санкт-Петербург, 2009, 2010), XIII з'їзді Українського ботанічного товариства (Львів, 2011), міжнародному симпозіумі «Тиждень еколога» (Дніпродзержинськ, 2012, 2015, Кам'янське 2017,

2019), міжнародній науково-практичній конференції «Мультинаукові дослідження як тренд розвитку сучасної науки» (Київ, 2015), міжнародній науково-практичній конференції «III літні наукові читання» (Київ, 2015 р.), V міжнародній заочній науково-практичній конференції «Розвиток науки в XXI столітті», (Харків, 2015), міжнародній науковій конференції «Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України» (Дніпро, 2016, 2018), міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 90-річчю з дня народження чл.-кор. НАН України, д.б.н., професора А. П. Травлєєва «Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони: історія, сучасність, перспективи» (Дніпро, 2019), International scientific and practical conference «Topical issues of methods of teaching natural sciences» (Lublin, 2019), The XXI International scientific and practical conference Current trends in the development of science and practice (Haifa, 2020).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 25 наукових робіт, з яких: чотири статті у наукових журналах, що входять до наукометричних баз даних Scopus, Web of Science та Index Copernicus International, три – у наукових фахових виданнях України, одна – в інших виданнях, 17 тез доповідей вітчизняних і міжнародних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (286 найменувань, у тому числі 136 іноземних). Повний обсяг дисертації становить 185 сторінок. Робота містить 30 таблиць, 30 рисунків, три додатки.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.**

### **АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ КАДМІЮ В ЕДАФОТОПАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ**

У розділі проаналізовано ступінь вивченості питання стану ґрунтів міських територій та особливостей їх діагностики (Стольберг, 2000; Білявський, 2006; Воробьева, 2011). Особливу увагу приділено розгляду проблеми забруднення урбанізованих територій (Гуцуляк, 2004; Стольберг, 2000; Дмитрук, 2006).

Докладно проаналізовано наукові роботи з вивчення біолого-екологічної характеристики кадмію, як одного з найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища, а саме: коротко розглянуті фізичні та хімічні властивості (Виноградов, 1950; Willgoose, 2018); розповсюдження у природі (Kabata-Pendias, A., 2004); шляхи надходження кадмію, як антропо-техногенного забруднювача, до навколишнього середовища (Кабата-Пендіас, Пендіас, 2005; Сараненко, 2007; Navari-Izzo and Rascio, 2010; Van Den Brink, 2011; Rafati, 2011; Wyszowska, 2013; Grobelak, 2013); шляхи надходження кадмію в організм людини (Батлук, 2001; Гуральчук, 2006; Margaret E.Sears, Kathleen J.Kerr, 2012; Riina I. Bray, 2012); потенційна небезпека кадмію для здоров'я людини (Алексеенко, 2000; Adriano, 2001); сучасний стан регіональної вивченості вмісту та розподілу Cd в ґрунтах (Сердюк, 2004; Клименко, 2007; Якуба, 2006; Цветкова и др., 2016).

### **ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ**

У розділі представлено географічне розташування та кліматичні особливості Дніпропетровської області (Горб, 2006). Більш докладно висвітлено фізико-географічну характеристику міста Кам'янське, кліматичну характеристику міста

(Грицан, Ловелиус, 2000), геологічну будову і рельєф (Багрій, Білоус та ін., 2000), охарактеризовано основні промислові підприємства міста, їх обсяги виробництва та викидів (Стратегія розвитку ..., 2020). Надано коротку характеристику степових біогеоценозів Присамар'я Дніпровського, як еталонної ділянки у вивченні стану міських екосистем, відмічено, що зональним типом ґрунтів є чорнозем звичайний, як для м. Кам'янське, так і для Присамар'я Дніпровського (Белова, Травлеев 1999; Бессонова, 2001; Якуба, 2006; Цветкова, Дубина, 2016 та ін.)

### ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для створення цілісної характеристики вмісту кадмію в едафотопіях м. Кам'янське (рис. 1) застосовано системний підхід оцінювання екологічних проблем в урбосистемах з різним ступенем техногенного навантаження.



Рис. 1. Картосхема екологічних профілів едафотопів м. Кам'янське (цифра – точка відбору проб – пробна ділянка)

Для оцінки розповсюдження кадмію в ґрунтах міста Кам'янське проведено ретельне ґрунтове обстеження, виділено 29 пробних ділянок (точки –т.– на картосхемі), закладених з півдня на північ, згідно рози вітрів і альтитуди. Пробні ділянки утворюють п'ять екологічних профілів едафотопів на території м. Кам'янське. Кожен із закладених профілів має значну амплітуду перепаду висот, проте, усі з п'яти наближаються до стаціонарних джерел антропогенного забруднення, якими виступають промислові підприємства та автомагістралі міста. Найбільш показовими з вмісту та розповсюдження Cd є екологічний профіль едафотопів № 2 (т. 1–6), який закладено уздовж центральної транспортної магістралі міста та наближені до металургійного підприємства ПАТ «Дніпровський меткомбінат». Екологічний профіль едафотопів № 5 (т. 25–29), розташований

у лівобережній селитебній частині міста зі значною віддаленістю від основних галузей підприємства. На кожній пробній ділянці закладався ґрунтовий розріз глибиною 150 см. Відбір ґрунтових зразків проводився через 10 см за допомогою агрохімічного буру (на першому етапі було відібрано 435 проб). Для подальшого аналізу кількість проб була скорочена, за визначеною нами морфологічною будовою, у чотири ґрунтові горизонти: 0–10; 20–50; 50–80; 120–150 см відповідно, та становила 116 ґрунтових зразків. Дослідження проводились у п'яти-семикратній повторюваності.

Класифікаційна оцінка ґрунтів урбанізованих територій м. Кам'янське виконана на підставі результатів аналізу територіальних ґрунтових обстежень з використанням класифікації міських ґрунтів М. М. Строганової (1992), ґрунтів України Д. Г. Тихоненко (2001) та рекомендації О. В. Мірзак (2001).

Для дослідження фізико-хімічних властивостей ґрунтів м. Кам'янське були обрані наступні характеристики: вміст гумусу, вміст карбонатів у ґрунтах



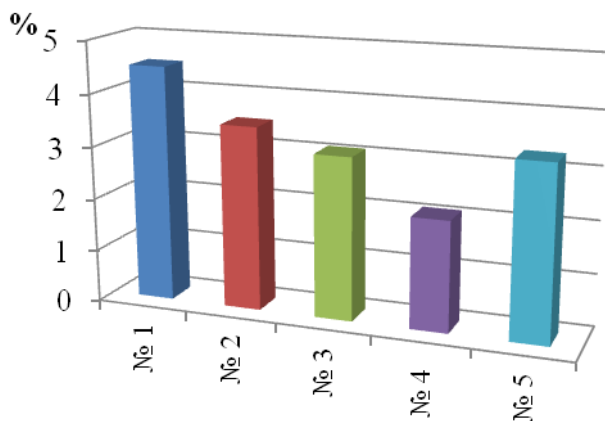
(ДСТУ 5041:2008), гранулометричний склад (ДСТУ 4768:2007), рН (ДСТУ ISO 10390:2001). Отримані результати опрацьовувалися методом варіаційної статистики (Лакин, 1990) з використанням спеціалізованих комп'ютерних пакетів програм *Excel* та «*Statistica 7.0*» з рівнем значущості 95%.

### ХАРАКТЕРИСТИКА ҐРУНТІВ м. КАМ'ЯНСЬКЕ ЗА СТУПЕНЕМ ВІРАЗНОСТІ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

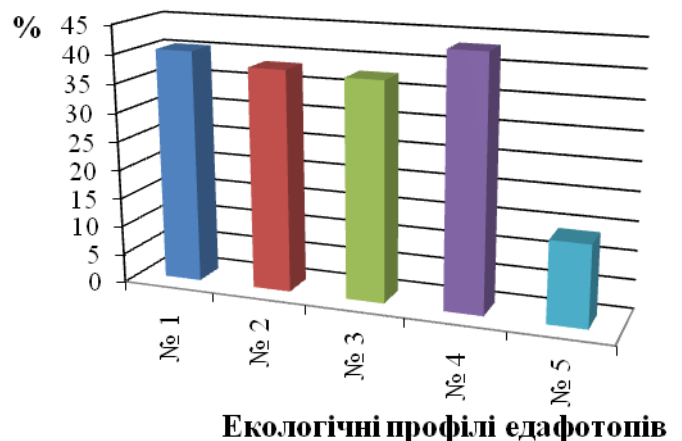
**Загальна характеристика та особливості генезу, будови і властивостей ґрунтів м. Кам'янське.** У ґрунтах м. Кам'янське, які піддаються антропо-техногенному впливу, визначено 4 основні ґрунтові горизонти ( $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_p$ ,  $P_k$ ); ґрунтовий розріз, закладений у тальвезі балки Водяна характеризується більш потужним гумусовим горизонтом ( $UrH_1$ ). Практично всі горизонти досліджуваних ґрунтових профілів характеризуються горіхуватою структурою та наявністю незначної кількості новоутворень карбонатів кальцію – білоочки.

У роботі запропоновано уніфіковану класифікацію ґрунтів за екоморфологічними особливостями едафотопів для м. Кам'янське. Едафотопи міста Кам'янське віднесено до наступних типів: ґрунти правобережної частини міста Кам'янське складають екологічні профілі едафотопів № 1–4 (пробні ділянки 1–24) – ґрунти житлових масивів (екологічні профілі едафотопів № 1–4) відносяться до власне урбаноземів; ґрунти техногенної частини міста належать до плантоземів (екологічні профілі едафотопів № 1–3: пробні ділянки 7–11 та 12–18); ґрунти зони відпочинку (екологічні профілі едафотопів № 2–4: пробні ділянки 1–6 та 19–24) належать до типу природних порушених (природно-антропогенних поверхнево-перетворених); ґрунти лівобережної частини Кам'янського (екологічний профіль едафотопів № 5: пробні ділянки 25–29) намівні та відносяться до рістоземів.

**Коротка фізико-хімічна характеристика едафотопів урбанізованих територій м. Кам'янське.** Було досліджено фізико-хімічні властивості едафотопів м. Кам'янське (рис. 2–5).



**Рис. 2.** Вміст гумусових речовин у ґрунтах м. Кам'янське.



**Рис. 3.** Вміст фізичної глини у ґрунтах м. Кам'янське.

Результати визначення вмісту гумусу показали, що за його вмістом ґрунти екологічного профілю едафотопів № 4 відносяться до середньо забезпечених



(3,62 %), ґрунти екологічних профілів едафотопів № 1, 2, 3, 5 – добре забезпечені (7,78; 6,03; 5,33; 5,69 % відповідно).

Конкретизація еколого-генетичного статусу досліджуваних ґрунтів міста Кам'янське за гранулометричним складом продемонструвала, що едафотопи екологічних профілів едафотопів №1 – 4 відповідають середньосуглинистим (40,4; 38,3; 37,7; 43,3%, відповідно), а екологічного профілю едафотопів № 5 – супіщаним (14,1%) ґрунтам.

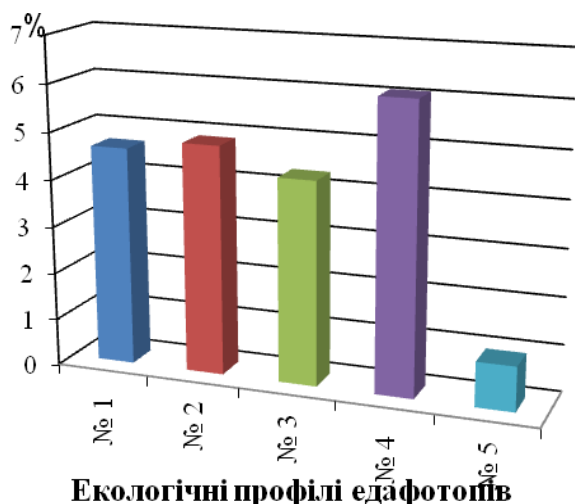


Рис. 4. Вміст карбонатів у ґрунтах м. Кам'янське.

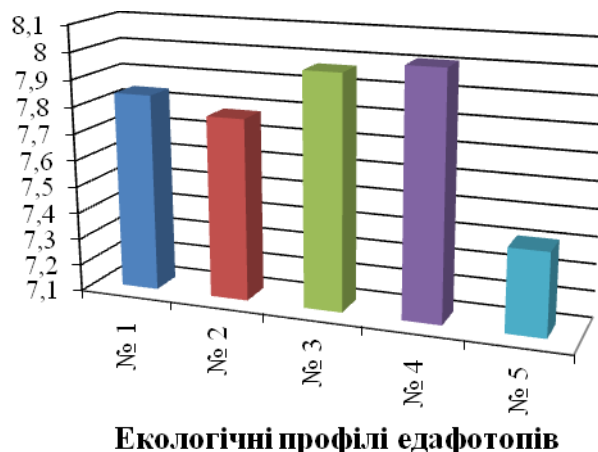


Рис 5. Значення рН водної витяжки у ґрунтах м. Кам'янське.

За ступенем карбонатності ґрунтів досліджувані екологічні профілі едафотопів профілів можна охарактеризувати як середньокарбонатні (ґрунти екологічного профілю едафотопів № 4) відмічаються максимальним значенням вмісту  $\text{CaCO}_3$  – 6,08%, інші – в діапазоні 4,31–4,56% та малокарбонатні 0,95 % – вміст у ґрунтах (екологічний профіль едафотопів № 5).

Визначення рН водної витяжки у ґрунтах всіх досліджуваних екологічних профілів едафотопів м. Кам'янське показав, що типовим явищем для урбоєкосистем є лужна реакція. Ґрунти правобережної частини Кам'янського (екологічні профілі едафотопів № 1–4) відрізняються значенням рН в діапазоні 7,78–8,00; мінімальне значення рН (7,41) зафіксовано в ґрунтах лівобережної частини міста (екологічний профіль едафотопів № 5).

### ВМІСТ КАДМІЮ В ЕДАФОТОПАХ МІСТА

Латеральний та радіальний розподіл Cd в едафотобах м. Кам'янське. Геохімічна структура ландшафтів базується на вченні про геохімічні бар'єри О. І. Перельмана (1975) та доповнена сучасними дослідженнями М. К. Чертко (2011).

Зовнішні фактори міграції визначають умови, концентрації та розсіювання хімічних елементів. В результаті формуються просторові закономірності розподілу Cd, що виражаються в утворенні геохімічної структури ландшафтів у латеральному та радіальному напрямках. З отриманих у роботі даних прослідковується тенденція до збільшення вмісту валової форми кадмію з півдня на північ при наближенні до промислової зони, що розташована в північній правобережній частині міста (табл.1).

Концентрація кадмію в екологічному профілю едафотопів № 2 урбанізованих територій (центральна правобережна частина м. Кам'янське),  
мг/кг абсолютно-сухого ґрунту

Ґрунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Валова форма Cd				Рухома форма Cd			
		C <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>		% до еталону	C <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>		% до еталону
0–10	1	2,82	2,32	2,57	856,7	0,087	0,073	0,080	8,0
	2	2,92	2,46	2,69	896,7	0,082	0,078	0,080	8,0
	3	4,04	3,34	3,69	1230,0	0,171	0,159	0,160	16,0
	4	6,19	5,11	5,65	1883,3	0,112	0,108	0,110	11,0
	6	7,26	6,22	6,74	2246,7	0,535	0,485	0,510	51,0
	5	8,21	6,97	7,59	2530,0	1,065	0,895	0,980	98,0
20–50	1	2,74	2,28	2,51	836,7	0,172	0,148	0,160	16,0
	2	2,69	2,39	2,54	846,7	0,083	0,077	0,080	8,0
	3	3,68	3,12	3,40	1133,3	0,083	0,077	0,080	8,0
	4	6,10	5,08	5,59	1863,3	0,081	0,079	0,080	8,0
	6	6,90	5,72	6,31	2103,3	0,392	0,368	0,380	38,0
	5	7,96	6,66	7,31	2436,7	0,793	0,667	0,730	73,0
50–80	1	2,42	2,00	2,21	736,7	0,151	0,129	0,140	14,0
	2	2,72	2,26	2,49	830,0	0,082	0,078	0,080	8,0
	3	3,40	2,90	3,15	1050,0	0,052	0,048	0,050	5,0
	4	4,92	4,08	4,50	1500,0	0,061	0,059	0,060	6,0
	6	6,42	5,30	5,86	1953,3	0,360	0,340	0,350	35,0
	5	5,43	4,59	5,01	1670,0	0,419	0,361	0,390	39,0
120–150	1	2,21	1,81	2,01	670,0	0,150	0,130	0,140	14,0
	2	2,15	1,85	2,00	666,7	0,081	0,079	0,080	8,0
	3	2,67	2,37	2,52	840,0	0,041	0,039	0,040	4,0
	4	4,49	3,71	4,10	1376,7	0,061	0,059	0,060	6,0
	6	5,90	4,94	5,42	1806,7	0,320	0,300	0,310	31,0
	5	4,70	4,08	4,39	1463,3	0,382	0,378	0,380	38,0
0–50	Еталон	0,3				0,1			
	ГДК (регіональний фон)	3,0				0,7			

Найвищі концентрації вмісту кадмію відмічені для екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 1–6), зокрема для корененасиченого ґрунтового горизонту (до 50 см), що свідчить, вірогідно, про техногенне надходження кадмію в едафотопи урбанізованих територій.

За інтервалом варіювання вмісту мікроелементу *екологічного профілю едафотопів № 2* максимальні значення концентрації важкого металу зафіксовано у кореневонасиченому шарі ґрунту (0–10 см). Вміст валової форми елементу в ґрунті коливається в межах  $2,57 \pm 0,25$ – $2,69 \pm 0,27$  мг/кг абсолютно сухого ґрунту

(мінімальні значення – т. 1 і 2) та  $6,74 \pm 0,52$ – $7,59 \pm 0,62$  мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальні значення – т. 6 і 5) валової форми, перевищення ГДК в 2,39 рази. Щодо рухомої форми Cd простежується аналогічна тенденція  $0,08 \pm 0,007$  мг/кг абсолютно сухого ґрунту (мінімальне значення – т. 2) та  $0,98 \pm 0,0085$  мг/кг абсолютно сухого ґрунту (максимальне значення – т. 5), незначне перевищення ГДК. Відмічено тенденцію підвищення концентрації валової і рухомої форм Cd зі зниженням рельєфу – висхідний (асцендіальний) латеральний розподіл (рис. 6).

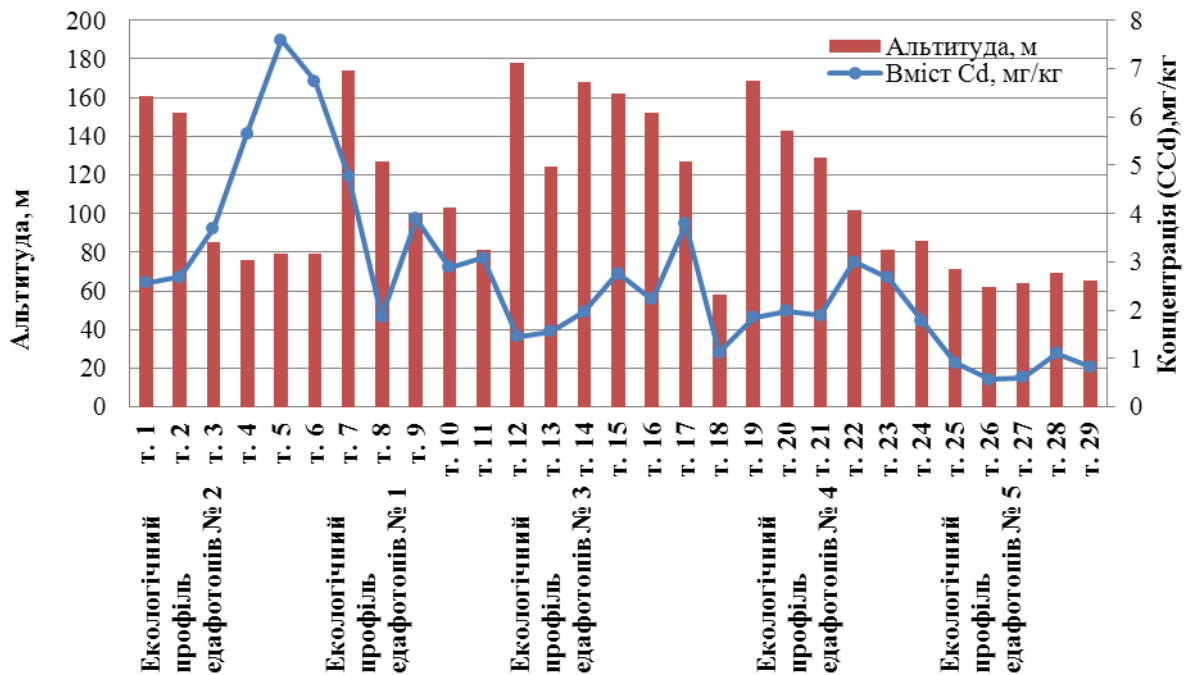


Рис. 6. Латеральний розподіл вмісту Cd (валова форма) в екологічних профілях едафотопів урбанізованих територій міста

Концентрація валових форм Cd (шар ґрунту 0–50 см) *екологічного профілю едафотопів № 1* варіює в межах  $1,57 \pm 0,05$  мг/кг ґрунту (мінімальне значення – т. 8) та  $4,73 \pm 0,15$  мг/кг ґрунту (максимальні значення – т. 7), перевищення ГДК в 1,58 рази. Стосовно рухомої форми кадмію, відмічено вміст  $0,09 \pm 0,005$  (мінімальне значення – т. 7) та  $0,45 \pm 0,035$  мг/кг ґрунту (максимальне значення – т. 10), мінімальне перевищення ГДК. Екологічний профіль едафотопів № 1 характеризується спадною (дисцендіальною) латеральною тенденцією. Концентрація валових форм Cd (шар ґрунту 0–50 см) *екологічного профілю едафотопів № 3* варіює в межах (мінімальні значення – т. 12–  $1,43 \pm 0,04$  мг/кг ґрунту, максимальні – т. 17–  $3,78 \pm 0,21$  мг/кг ґрунту, перевищення ГДК в 1,26 рази; рухомих форм кадмію: мінімальні значення (т. 12) –  $0,09 \pm 0,005$  мг/кг ґрунту, й максимальні (т. 17) –  $0,24 \pm 0,015$  мг/кг ґрунту, відповідно, в межах ГДК. У екологічному профілі едафотопів № 3 відмічено пікоподібну латеральну структуру. Концентрації валових форм Cd *екологічного профілю едафотопів № 4* варіює в діапазоні: мінімальне значення (т. 24)–  $1,78 \pm 0,03$ , максимальне (т. 22)–  $3,01 \pm 0,18$ , і рухомих – мінімальні значення (т. 22 і 23)–  $0,08 \pm 0,003$ , максимальні (т. 24)–

0,55 ± 0,031 абсолютно сухого ґрунту, відповідно, не перевищує допустимі нормативи. Екологічний профіль едафотопів № 4: пікоподібна латеральна структура. Інтервал варіювання концентрації кадмію в едафотопах *екологічного профілю едафотопів № 5* лівобережної частині міста: вміст валових і рухомих форм в максимальному та мінімальному значенні в корененасиченому шарі ґрунту: мінімальні значення (т. 27) становлять 0,49 ± 0,02 для, максимальні (т. 25)– 1,06 ± 0,05 мг/кг ґрунту; мінімальні значення (т. 28)–0,04 ± 0,002, максимальні (т. 29)–0,35 ± 0,021 мг/кг абсолютно сухого ґрунту, відповідно, відсутнє перевищення ГДК. Для екологічного профілю едафотопів № 5 характерна рівномірна латеральна структура. Радіальний вид структури ландшафтів екологічних профілів едафотопів № 1–4 – гумусовий, в екологічному профілі едафотопів № 5 – невиразний.

Вміст валових і рухомих форм кадмію в генетичних горизонтах основних типів ґрунтів умовно-чистих природних (еталонних) і антропогенно забруднених (урбанізованих) ландшафтах варіюють в достатньо широкому діапазоні(табл. 2).

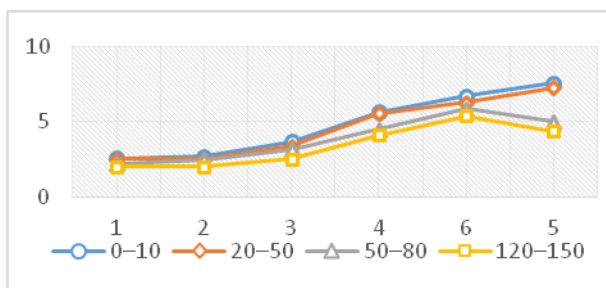
Таблиця 2

Концентрація кадмію в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське, мг/кг ґрунту

Тип ґрунтів	V,%	Захід	Центр	Схід
		$\bar{C} \pm \sigma$		
		Правобережна частина		
Власне урбаноземи	<u>7,88</u>	<u>1,03 ± 0,08</u>	<u>1,86 ± 0,15</u>	<u>1,02 ± 0,08</u>
	5,23	0,29 ± 0,02	1,10 ± 0,01	0,75 ± 0,06
Плантоземи	<u>20,93</u>	<u>5,53 ± 0,35</u>	<u>7,58 ± 0,62</u>	<u>6,54 ± 0,42</u>
	15,47	0,98 ± 0,07	2,71 ± 0,06	1,96 ± 0,12
Природні порушені	<u>7,61</u>	<u>1,38 ± 0,11</u>	<u>1,57 ± 0,15</u>	<u>1,32 ± 0,07</u>
	7,86	0,57 ± 0,04	0,58 ± 0,05	0,63 ± 0,05
		Лівобережна частина		
Рістоземи	<u>5,05</u>	<u>0,62 ± 0,02</u>	<u>1,11 ± 0,05</u>	<u>0,81 ± 0,06</u>
	4,25	0,11 ± 0,01	0,49 ± 0,02	0,35 ± 0,03
Еталонна ділянка*	<u>3,33</u>	<u>0,3 ± 0,01</u>		
	10,00	0,1 ± 0,01		

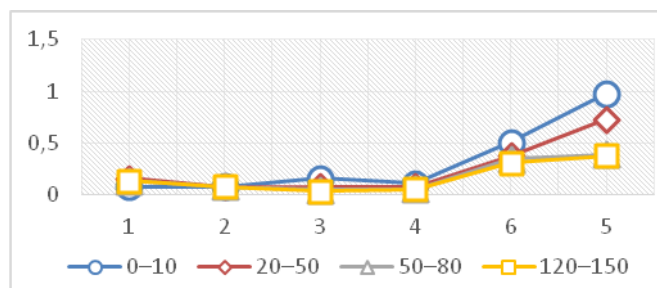
*Примітка:* чисельник – вміст валових форм; знаменник – вміст рухомих форм; \* – чорнозем звичайний різнотравно-кострицево-ковилевого степу Присамар'я Дніпровського

**Розподіл концентрацій валових та рухомих форм кадмію в едафотопах м. Кам'янське.** Вміст валової та рухомих форм кадмію представлено графічно (рис. 7). На графіках прослідковується неоднорідний розподіл кадмію в ґрунтах урбанізованих територій м. Кам'янське.

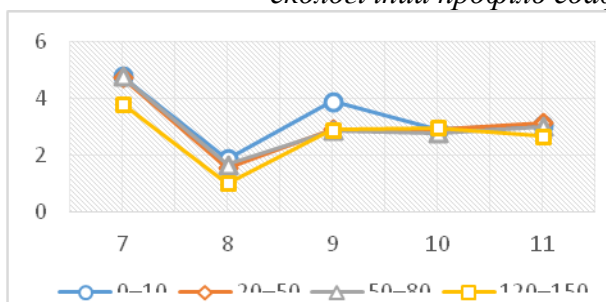


валова форма

екологічний профіль едафотонів № 2: пробні ділянки 1 – 6

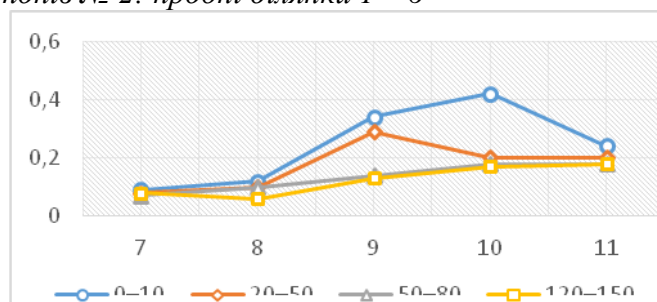


рухома форма

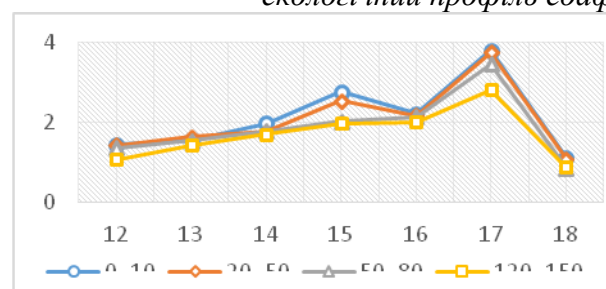


валова форма

екологічний профіль едафотонів № 1: пробні ділянки 7 – 11

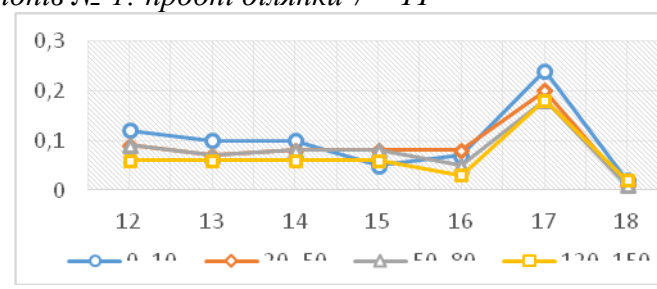


рухома форма

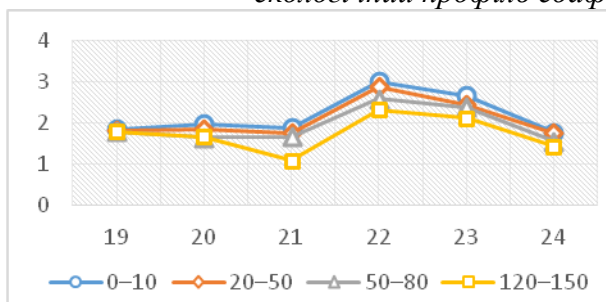


валова форма

екологічний профіль едафотонів № 3: пробні ділянки 12 – 18

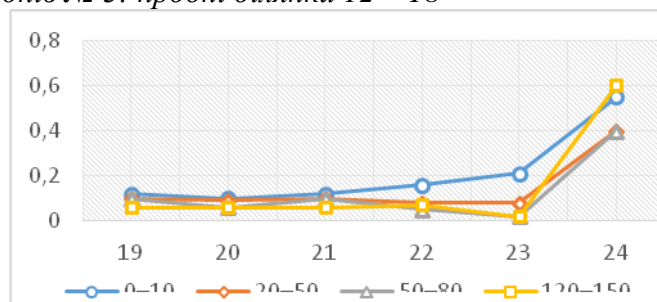


рухома форма

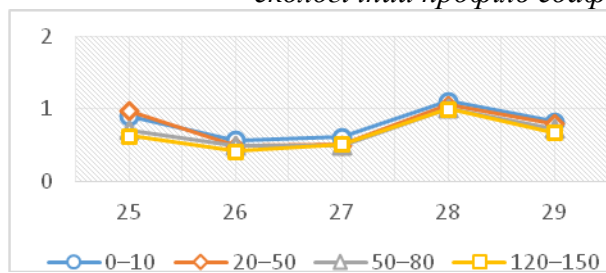


валова форма

екологічний профіль едафотонів № 4: пробні ділянки 19 – 24

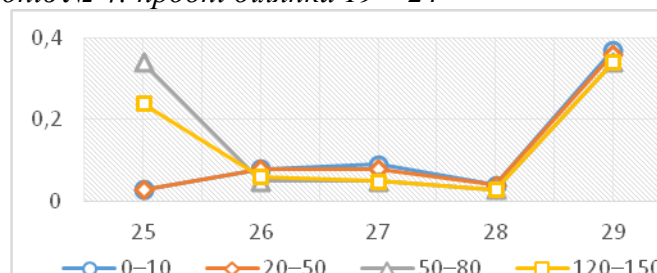


рухома форма



валова форма

екологічний профіль № 5: пробні ділянки 25 – 29



рухома форма

**Рис. 7. Розподіл валової та рухомої форм Cd у екологічних профілях едафотонів міста:** по осі абсцис представлено номер дослідної ділянки – точки; по осі ординат – концентрація Cd, мг/кг абсолютно сухого ґрунту

Розподіл валової та рухомої форм в усіх екологічних профілях едафотопів правобережної та лівобережної частин міста показав, що кадмій концентрується, здебільшого, у верхній частині ґрунтового профілю, його вміст рівномірно зменшується зі зниженням глибини генетичних горизонтів ґрунтового профілю міських ландшафтів.

На підставі отриманих даних підтверджено формування зон з підвищеним вмістом кадмію в межах правобережної частини м. Кам'янське. Вивчення розподілу кадмію за глибиною ґрунтового профілю показало його концентрування у верхній частині та відносно рівномірний розподіл за профілем чорноземів звичайних. Виявлена загальна тенденція підвищення рівня вмісту кадмію з наближенням до основного джерела забруднення – Дніпровського металургійного комбінату.

Проаналізовано вміст та розподіл кадмію в ґрунтах лівобережної частини м. Кам'янське. Рістоземі лівобережної частини міста характеризуються найнижчим середнім вмістом валової форми кадмію (0,8 мг/кг). Причин мінімального вмісту кадмію у ґрунтах даної території може бути декілька: зональними ґрунтами лівобережної частини міста є намівні дерново-піщані та глинисто-піщані ґрунти у комплексі із слабогумусними пісками та піщаними чорноземами, які відрізняються зниженою поглинальною здатністю, а також значною віддаленістю від основних джерел промисловості (металургійної, машинобудівної, хімічної) Кам'янського. Тому, за вмістом кадмію, дану територію можна вважати умовно чистою.

**Оцінка забруднення едафотопів урбанізованих територій** Встановлені величини коефіцієнтів кореляції показали наявність статистично доведеного позитивного зв'язку з кількістю гумусу ( $r = 0,75$ ), рН ( $r = 0,67$ ), вмістом фізичної глини ( $r = 0,69$ ), вмістом карбонатів ( $r = 0,58$ ).

Узагальнення даних, щодо вмісту кадмію в ґрунтовому покриві свідчить, що адміністративні райони міста Кам'янське можна розташувати у такий висхідний ряд: Дніпровський (0,62–5,53 мг/кг) – Південний (1,02–6,54 мг/кг) – Заводський (1,57–7,58 мг/кг), (рис.8).

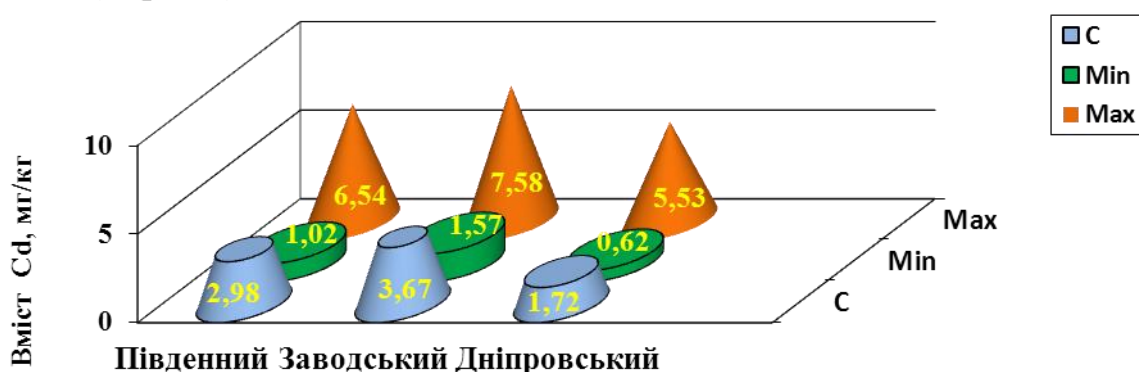


Рис. 8. Вміст кадмію в ґрунтах адміністративних районів м. Кам'янське

Оцінка ступеня забруднення ґрунтів за коефіцієнтом концентрації Cd в едафотопах урбанізованих територій показує аналогічний ряд: помірний ( $K_C = 2,62$ ) Дніпровський – сильний ( $K_C = 3,51$ ) Південний – дуже сильний ( $K_C = 4,27$ ) Заводський.



## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ БІОЛОГІЧНОГО КРУГООБІГУ КАДМІЮ В КУЛЬТУРБІОГЕОЦЕНОЗАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

Запаси опаду лісових екосистем урбанізованих територій міста в середньому становить  $31,10 \pm 3,15$  ц/га у правобережній та  $38,88 \pm 3,95$  ц/га абсолютно-сухої маси в лівобережній частинах міста.

Отримані значення опадо-підстилкового коефіцієнту свідчать про загальмований тип біологічного кругообігу й усіх досліджуваних культурбіогеоценозах. ОПК правобережної частині міста складає  $3,14 \pm 0,15$ , лівобережної –  $3,09 \pm 0,11$ , що відповідає балу 6, згідно шкали числових показників (Родин, Базилевич, 1965).

Для розрахунку інтенсивності міграції кадмію в досліджуваних культурбіогеоценозах Кам'янського приведені дані запасів кадмію у дубово-кленово-білоакацієвих насадженнях. У правобережній частині міста запаси Cd у підстилці досліджуваних штучних деревних насаджень складають 3,79 ц/га, в опаді – 1,11 ц/га, у лівобережній частині в аналогічних насадженнях запаси кадмію становлять у підстилці 6,14 ц/га, в опаді – 1,67 ц/га.

*Таблиця 3*

Інтенсивність (ОПК) біологічного кругообігу кадмію у штучних лісових насадженнях м. Кам'янське

Екосистема	Зона міста	ОПК	Тип біологічного кругообігу
Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Рекреаційна, правобережна частина міста	3,41	загальмований
Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Рекреаційна, лівобережна частина міста	3,67	загальмований

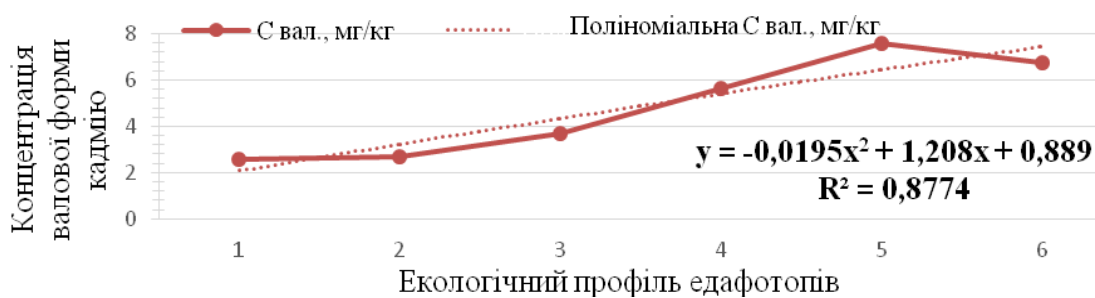
Співвідношення вмісту важких металів у підстилці й опаді зеленої маси (ОПК) дає можливість характеризувати швидкість кругообігу елемента в системі ґрунт–рослина. Інтенсивність (ОПК) біологічного кругообігу кадмію у штучних лісових насадженнях м. Кам'янське склала 3,41 та 3,67, тип кругообігу загальмований.

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ ЕДАФОТОПІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ м. КАМ'ЯНСЬКЕ

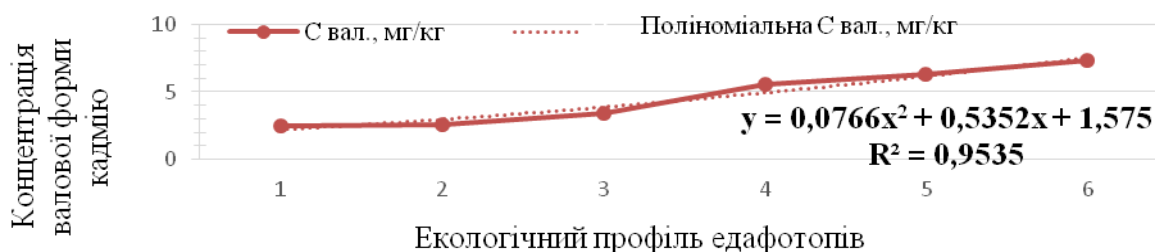
Представлено розроблені математичні моделі вмісту валової форми кадмію для конкретних типів урбанізованих територій м. Кам'янське (ґрунтовий профіль 0–150 см), складене рівняння множинної регресії. На рис. 9 наведено моделі вмісту валової форми кадмію в едафотопіах екологічного профілю № 2 м. Кам'янське.



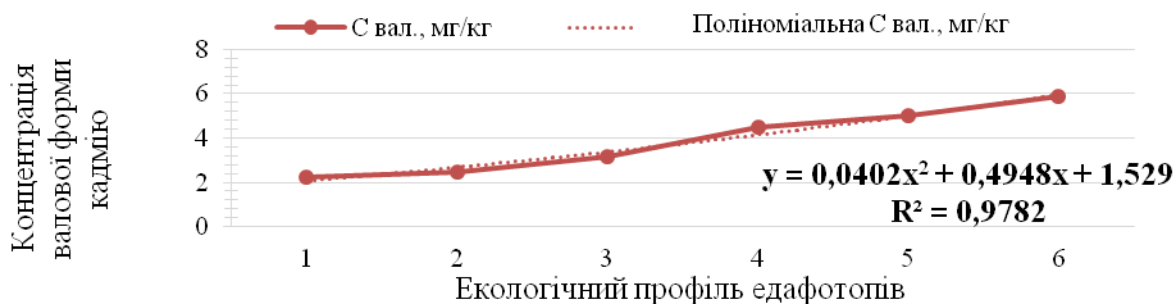
a)



b)



c)



d)



1, 2, 3, 4 – власне урбаноземи; 5 – плантоземи; 6 – природні порушені ґрунти

**Рис. 9. Математичні рівняння прогнозу вмісту валової форми кадмію у екологічному профілю ґрунтів № 2 м. Кам'янське: а – (0 – 10 см); б – (20 – 50 см); в – (50 – 80 см); г – (120 – 150 см).**

**Інтерполяція вмісту кадмію в ґрунтах урбанізованих територій.** Проведено інтерполяцію отриманих результатів варіювання концентрації кадмію з використанням інструментів Spatial Analyst програмного продукту ArcGIS, у шарах ґрунту, що дозволило виявити аномальні зони вмісту валових форм кадмію (рис. 10). Інтерполяція вмісту рухомих форм Cd показано на рис. 11.

Грунтовий горизонт, см

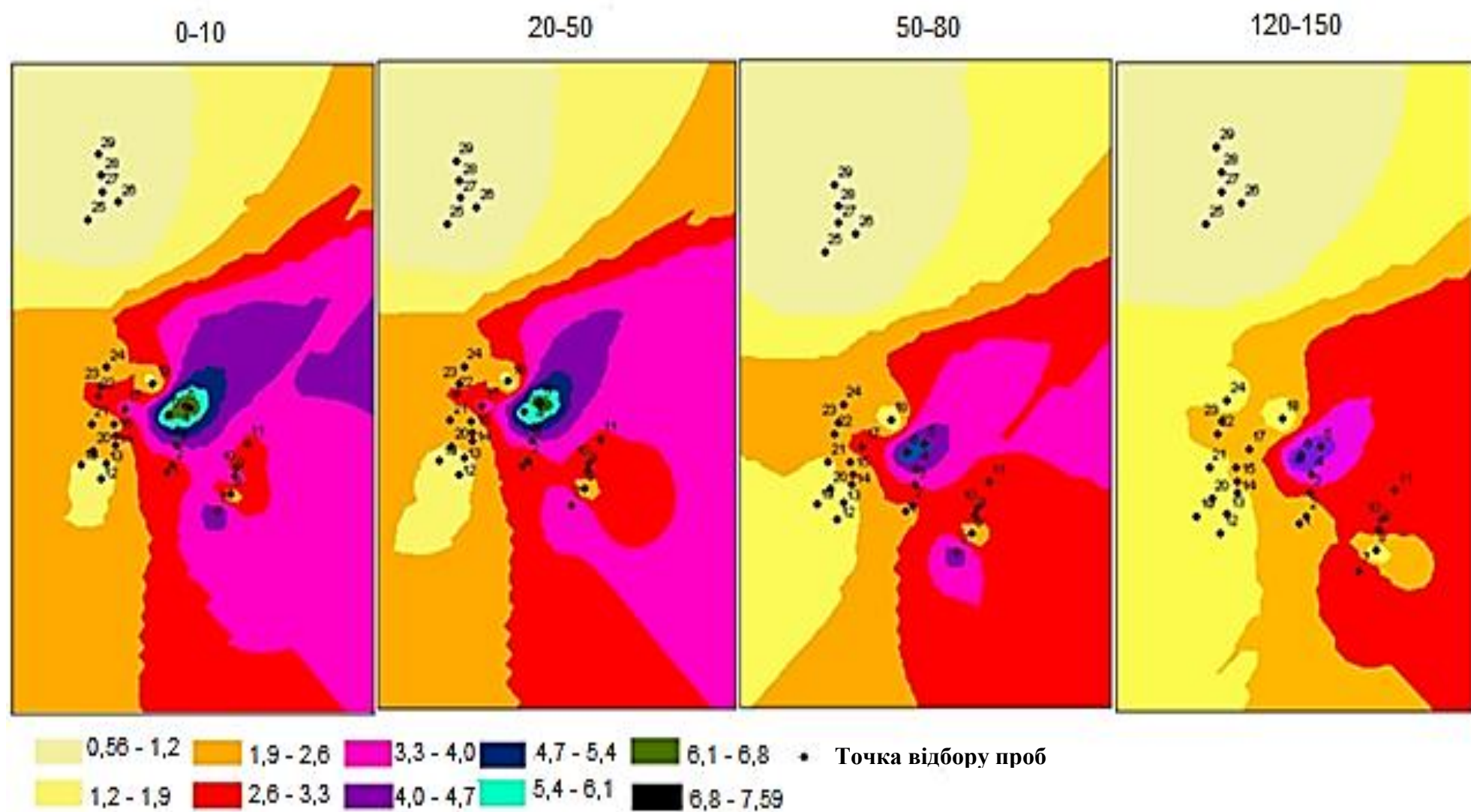


Рис. 10. Інтерполяція вмісту кадмію (валова форма) у ґрунтах м. Кам'янське.

Грунтовий горизонт, см

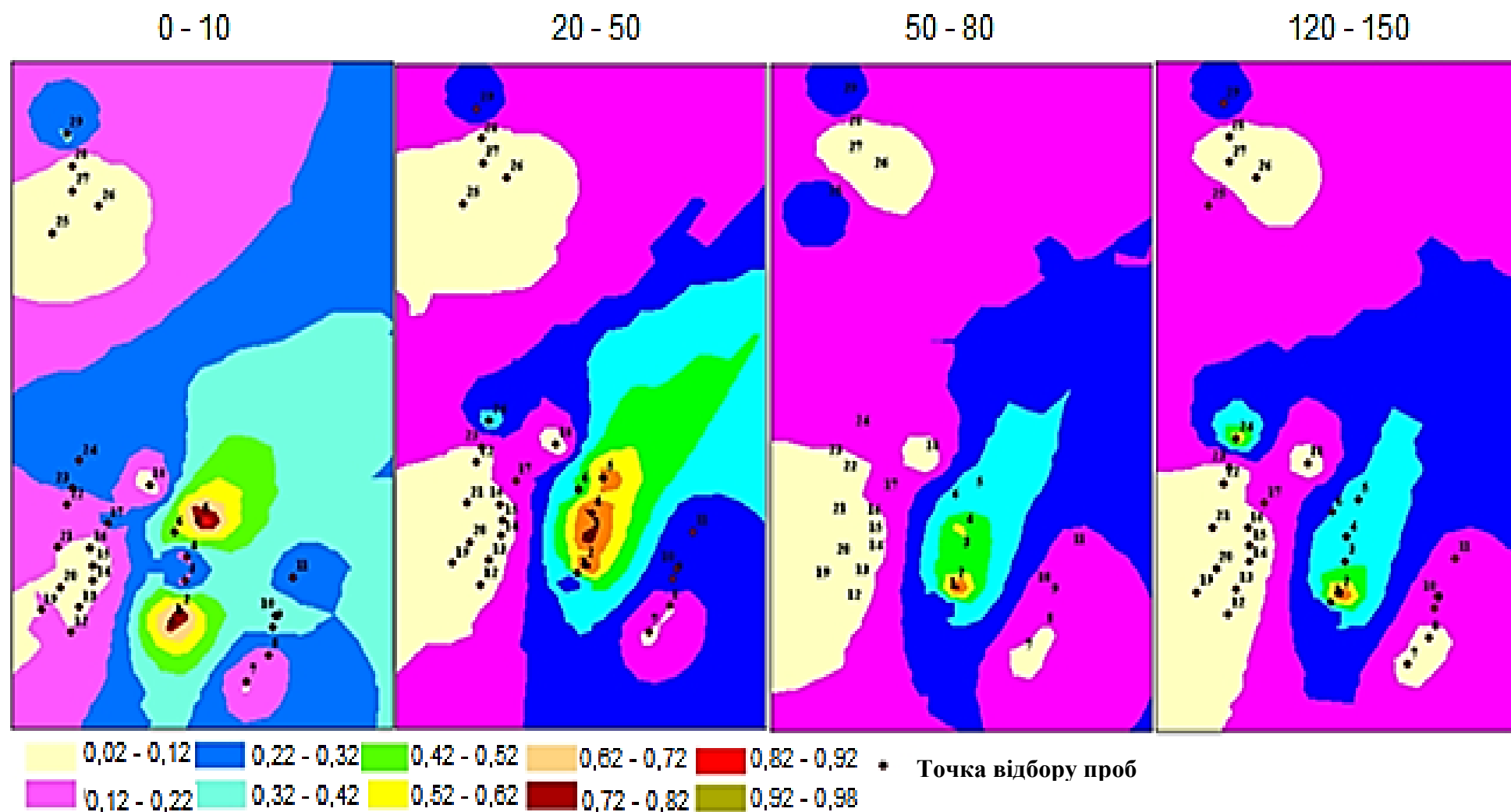


Рис. 11. Інтерполяція вмісту кадмію (рухома форма) у ґрунтах м. Кам'янське.

Представлені карти інтерполяції вмісту валових і рухомих форм Cd відповідають картосхемі екологічних профілів м. Кам'янське (рис. 1). Методом ординарного крігінга виявлені ділянки з максимальним вмістом валової та рухомої форм металу. Це виявило можливість територіально змодельовати певну зону на північному кордоні екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 1–6), де, з великою ймовірністю, спостерігається не тільки значний вміст важкого металу, а і його постійне накопичення у верхніх ґрунтових горизонтах (0–10 см). Також, в межах даного горизонту змодельовано зони, на яких потенційно можливе концентрування валової форми Cd, ймовірно, у діапазоні 4,7–5,4 мг/кг, не тільки в межах точки 3, а й на території, що має вигляд еліпсоподібну форму навколо точок 5–6. Виявлені ділянки, з максимальним вмістом рухомої форми металу ( (понад 0,7 мг/кг). Відмічено, такі ділянки розташовані відокремлено одна від одної на глибині до 10 см, до глибини 50 см вони поєднуються, а глибше – майже зникають взагалі, що пояснюється зниженням рухомої форми Cd до нормативних показників. Використання геоінформаційних методів надало можливість територіально змодельовати певну зону на північному кордоні екологічного профілю № 2 (т. 1–6), де, з великою ймовірністю, спостерігається не тільки значний вміст важкого металу, а і його постійне накопичення у верхніх ґрунтових горизонтах (0–10 см). У межах даного горизонту змодельовано зони, на яких потенційно можливе концентрування валової форми кадмію, наприклад, у діапазоні 4,7–5,4 мг/кг, не тільки в районі точки 3, а й на території, що має вигляд еліпсоподібної форми навколо точок 5–6. Встановлено ділянки з максимальним вмістом рухомої форми металу (понад 0,7 мг/кг). Відмітимо, що такі ділянки розташовані відокремлено одна від іншої на глибині до 10 см, до глибини 50 см вони з'єднуються, а глибше – майже зникають взагалі.

### ВИСНОВКИ

В едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське визначено вміст валової та рухомої форм кадмію та досліджено його латеральне й радіальне розповсюдження, як одного з найбільш токсичних і небезпечних для здоров'я людини важких металів. У роботі вперше визначено розподіл кадмію за ґрунтовим профілем глибиною 150 см у досліджених едафотопах, що перебувають в умовах антропо-техногенного навантаження різного ступеню.

1. У ґрунтах м. Кам'янське, які підлягають антропо-техногенному впливу в середньому наявні 4 ґрунтових горизонти ( $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_p$ ,  $P_k$ ). Практично всі горизонти досліджуваних ґрунтових профілів характеризуються горіхуватою структурою та наявністю новоутворень з карбонатів кальцію – білоочки. Комплексний аналіз фізико-хімічних властивостей показав едафотопів міста показав, що за вмістом гумусу досліджувані ґрунти відносяться до середньо забезпечених і добре забезпечених; за гранулометричним складом едафотопи характеризуються як середньо суглинисті та супіщані; за ступенем карбонатності – середньокарбонатні та малокарбонатні. Визначення рН водної витяжки показало, що типовим явищем для ґрубоєкосистем є лужна реакція.

2. За ступенем виразності антропогенного впливу едафотопи міста Кам'янське віднесено до наступних типів: ґрунти правобережної частини – ґрунти

житлових масивів відносяться до власне урбаноземів; ґрунти техногенної частини міста належать до плантоземів; ґрунти зони відпочинку належать до типу природних порушених (природно-антропогенних поверхнево-перетворених); ґрунти лівобережної частини Кам'янського відносяться до рістоземів.

3. Аналіз радіального розподілу валової форми Cd (шар ґрунту 0–150 см) в екологічного профілю едафотопів № 2 дозволив виділити наступні види геохімічної структури ландшафтів: 1) невиразний (т. 1 і 2) – плантоземи району житлової забудови поблизу залізничного та автовокзалів, які характеризуються незначною зміною вмісту валової форми кадмію; 2) гумусовий (т. 4, 5, 6) – власне урбаноземи, плантоземи, природні порушені ґрунти, що відмічаються максимальним рівнем вмісту валової форми Cd у ґрунтовому горизонті. Радіальний розподіл рухомої форми кадмію у плантоземах показав, що на досліджуваній пробній ділянці (т. 1) інтервал варіювання збільшується з глибиною ґрунтового профілю: в шарі ґрунту 0–10 см, вміст рухомої форми Cd складає  $0,08 \pm 0,007$  мг/кг ґрунту, в шарі 120–150 см вже дорівнює  $0,14 \pm 0,010$  мг/кг, що свідчить про лесивований вид структури ландшафту.

4. Радіальний аналіз розподілу валової та рухомої форм Cd на пробних ділянках (точках) досліджених ґрунтів показав, що кадмій концентрується у верхній частині ґрунтового профілю та відносно рівномірно зменшує вміст вниз по ґрунтовому профілю міських ландшафтів. Латеральний розподіл кадмію демонструє наявність трьох видів структури ландшафтів: асцендіальний, дисцендіальний та пікоподібний.

5. Отримані дані опадо-підстилкового коефіцієнту для дубово-кленово-білоакацієвих фітоценозів м. Кам'янське свідчать про загальмований тип біологічного кругообігу у досліджуваних екосистемах (бал 6, згідно шкали числових показників). Визначено інтенсивність міграції кадмію в досліджуваних екосистемах, розраховані запаси мікроелементу у штучних насадженнях і співвідношення вмісту важких металів у підстилці й опаді зеленої маси (ОПК), що дало можливість характеризувати швидкість кругообігу елемента в підсистемі опад–підстилка.

6. За результатами кореляційного аналізу взаємозв'язку вмісту кадмію у ґрунтах м. Кам'янське з такими фізико-хімічними ґрунтовими характеристиками, як вміст гумусу, об'ємна вага, хлорид-іони, сухий залишок, гранулометричний склад, рН водної витяжки та вміст карбонатів встановлено наявність статистично доведеного зв'язку (позитивний кореляційний) – з кількістю гумусу ( $r = 0,75$ ), рН ( $r = 0,67$ ), вмістом фізичної глини ( $r = 0,69$ ) та вмістом карбонатів ( $r = 0,58$ ).

7. Вміст кадмію в ґрунтах м. Кам'янське відрізняється просторовою неоднорідністю та коливається у широкому діапазоні. Кількість валової форми варіює в межах 0,62–7,58, рухомої – 0,11–2,71 мг/кг ґрунту. Найвищі концентрації вмісту кадмію відмічені для екологічного профілю № 2 (т. 1–6), зокрема в корененасиченому ґрунтовому горизонті (до 50 см), що свідчить про техногенний характер його надходження.

8. В умовах урбанізованих територій на вміст і розповсюдження валової та рухомої форм кадмію впливають комплекс чинників: фізико-хімічні властивості ґрунту (вміст гумусу, гранулометричний склад, карбонатність і рН), рельєф

місцевості (альтитуда), кліматичні особливості (роза вітрів) і наближеність до джерела забруднення.

9. За вмістом кадмію в ґрунтовому покриві адміністративні райони міста Кам'янське утворюють висхідний ряд: Дніпровський (0,62–5,53 мг/кг; ГДК<sub>max</sub>=1,84 рази) – Південний (1,02–6,54 мг/кг; ГДК<sub>max</sub>=2,18 рази) – Заводський (1,57–7,58 мг/кг; ГДК<sub>max</sub>=2,53 рази). Оцінка ступеня забруднення ґрунтів за коефіцієнтом концентрації Cd в едафотопах урбанізованих територій показує аналогічний ряд: помірний (K<sub>C</sub> = 2,62) Дніпровський – сильний (K<sub>C</sub> = 3,51) Південний – дуже сильний (K<sub>C</sub> = 4,27) Заводський.

10. Представлено математичні рівняння прогнозу вмісту валової форми кадмію у ґрунтах м. Кам'янське. Характерною рисою для всіх математичних рівнянь прогнозу вмісту валової форми кадмію в едафотопах міста є наявність високого позитивного коефіцієнту множинної кореляції.

11. Проведено інтерполяцію отриманих результатів варіювання концентрації кадмію у ґрунтовому профілі 0–150 см з використанням програмного забезпечення ArcGIS модулю Spatial Analyst, що дозволило визначити аномальні зони вмісту валових форм кадмію у ґрунтах м. Кам'янське. Методом ординарного крігінга виявлені ділянки з максимальним вмістом рухомої форми металу (понад 0,7 мг/кг). Такі ділянки розташовані відокремлено одна від одної на глибині до 10 см, далі до глибини 50 см вони поєднуються, а глибше – майже зникають взагалі, що пояснюється зниженням рухомої форми Cd до нормативних показників.

## СПИСОК ПРАЦЬ, ОПУБЛІКОВАНИХ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### У виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз даних

1. **Gunko, S.O., Tsvetkova, N.M., & Neposhivaylenko, N.O.** (2018) The interpolation of cadmium in soils urbanized territory of steppe Dnieper region using geoinformation modeling methods. *Biosystems Diversity*, 26 (2), 145–153. doi: [10.15421/011823](https://doi.org/10.15421/011823) (особистий внесок: здійснено аналіз літературних даних, проведено обробку матеріалу, аналіз результатів і оформлення для публікації) (*Scopus, Web of Science*).

2. Цветкова, Н.М., **Гулько, С.О.** (2015) Корелятивна характеристика кадмію в ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*, 23 (2), 190–196. doi: [10.15421/011527](https://doi.org/10.15421/011527) (особистий внесок: аналіз літературних даних, проведено обробку матеріалу, аналіз результатів і оформлення для публікації) (*Web of Science*).

3. **Гулько, С.О.** (2015) Екологічні особливості розповсюдження кадмію в едафотопах урбанізованих територій степового Придніпров'я (на прикладі м. Дніпродзержинська), *Ґрунтознавство*, 16 (3-4), 52–59. doi: [10.15421/041517](https://doi.org/10.15421/041517) (*Index Copernicus International*).

4. **Гулько С.О.** (2018) Застосування ГІС технологій в оцінюванні розповсюдження кадмію в ґрунтах м. Кам'янське. *Екологічні науки*, 2 (21), 218–223 (*Index Copernicus International*).

### Публікації у наукових фахових виданнях України

5. **Гуцько, С.О.** (2015) Екоморфологічні особливості едафотопів міста Дніпродзержинськ. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 44, 146–150.
6. **Гуцько, С.О.** (2011) Кадмій у ґрунтах м. Дніпродзержинськ. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Медицина*, 2 (т.1), 24–30.
7. **Гуцько, С.О.** (2010) Сучасний стан вивченості кадмію в едафотопах урбанізованих територій Степового Придніпров'я. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 39, 125–129.

### Публікації в інших наукових виданнях

8. Цветкова, Н.Н., **Гуцько, С.А.** (2009) Биолого-экологические особенности и характеристика кадмия. *Науковий вісник МДУ ім. В.О. Сухомлинського*, 24, 4 (1), 228–231. (особистий внесок: сформульовано мету, проаналізовано матеріал, зроблено висновки).

### Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. **Гуцько, С.О.** Дубина, А.О. (2020) Міграція Mn та Ni у біогеоценозах штучних лісових насаджень степового Придніпров'я (на прикладі Самишиної балки м. Кам'янське. *CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SCIENCE AND PRACTICE: Materials of reports The XXI International scientific and practical conference*. (110–114 pages). Naifa.
10. Дубина, А. О., **Гуцько, С. О.** (2019) Різноманіття кругообігів органо-мінеральних речовин у штучних лісових насадженнях степового Придніпров'я. *Topical issues of methods of teaching natural sciences: Conference proceedings International scientific and practical conference* . (70–74 pages). Lublin: Izdevnieciba «Baltija Publishing»
11. **Гуцько, С.О.** (2019) Оцінка розповсюдження кадмію в ґрунтах м. Кам'янське. *Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони: історія, сучасність, перспективи*: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю з дня народження чл.-кор. НАН України, д.б.н., професора А. П. Травлєєва. (С. 107–110). Дніпро: Ліра.
12. Дубина, А.О, **Гуцько, С.О.** (2019) Трансформація біокругообігу речовин степової зони під впливом лісових насаджень. *Тиждень еколога-2019: Збірник тез доповідей міжнародного наукового симпозиуму*. (С. 210–213). Кам'янське: ДДТУ.
13. **Гуцько, С.О.** (2018) Вміст кадмію в урбанізованому ґрунтовому покриві м.Кам'янське. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України*: Матеріали II Міжнародної наукової конференції. (С.68–69). Дніпро: Ліра.
14. **Gunko, S.O.**, Tsvetkova, N.N (2017) Ecological peculiarities of cadmium dispersal at the urbanized terrain edaphotopes of the steppe Dnieper region (shown by Dniprodzerzhinsk as an example). *Неделя еколога-2017: Доклады международного научного симпозиума*. (С. 142–144). Каменское: ДГТУ.
15. Якуба, М.С., **Гуцько, С.О.** (2016) Вміст Кадмію у ґрунтах з різним ступенем техногенного навантаження. *Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України*: Матеріали міжнародної наукової конференції. (С.74–75). Дніпро: Ліра.



16. **Гулько, С.А.** (2015) Взаимосвязь микроэлементов (тяжелых металлов) с механическим составом и органическим веществом почвы. *III літні наукові читання: Збірник центру наукових публікацій «Велес» за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції.* (С. 14–15). Київ: Центр наукових публікацій.
17. **Гулько, С.А.,** Цветкова, Н.Н. (2015) Влияние лесных экосистем на круговорот веществ степной зоны Украины: *V международная заочная научно-практическая конференция «Развитие науки в XXI веке»: Сборник публикаций по материалам конференции.* (С. 21–22). Харьков: «Знание».
18. **Гулько С.А.** (2015) Мониторинговые исследования лесных биогеоценозов в степной зоне Украины. *Мультинаукові дослідження як тренд розвитку сучасної науки: Збірник центру наукових публікацій за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції.* (С. 16–17). Київ: Центр наукових публікацій.
19. **Гулько, С.О.,** Цветкова, Н.М. (2015) Екологічна характеристика кадмію в природних та антропогенно-змінених ґрунтах м. Дніпродзержинськ. *Неделя эколога-2015: Доклады международного научного симпозиума.* (С. 196). Днепродзержинск: ДГТУ.
20. **Гулько, С.О.,** Цветкова, Н.М. (2012) Состав та міграція кадмію в антропогенно-перетворених ґрунтах. *Неделя эколога–2012: Тезисы докладов международного симпозиума.* (С. 40–42). Днепродзержинск: ДДТУ.
21. **Гулько, С.О.** (2011) Вплив техногенного забруднення на вміст кадмію у трав'яних рослинах промислового міста Дніпродзержинськ. *XIII з'їзд Українського ботанічного товариства: Тези доповідей.* (С. 427). Львів: ТзОВ «Простір М».
22. **Гулько, С.А.** (2010) Особенности миграции кадмия в эдафотопях техногенных ландшафтов (на примере г. Днепродзержинска). *Проблемы недропользования. Сборник научных трудов международного форума-конкурса молодых ученых.* (С. 113–114) Санкт-Петербург: СПГГИ.
23. **Гулько, С.А.,** Цветкова, Н.Н. (2010) Кадмий в урбанизированном почвенном покрове г. Днепродзержинска. *Екологія. Людина. Суспільство: Збірка тез доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених.* (С. 36–37). Київ: НТУУ «КПІ».
24. **Гулько, С.А.** (2009) Содержание и миграция кадмия в эдафотопях г. Днепродзержинска. *Проблемы недропользования: Рабочие материалы международного. форума-конкурса молодых ученых.* (С. 114). Санкт-Петербург: СПГГИ.
25. **Гулько, С.О.** (2009) Вміст та розповсюдження кадмію в системі ґрунт–рослина в біогеоценозах міста Дніпродзержинська. *Молодь і поступ біології: збірник тез V міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів.* (С.53-54). Львів: ЛНУ ім. І.Франка.

#### АНОТАЦІЯ

**Гулько С. О.** Закономірності розподілу кадмію в едафотопях урбанізованих територій м. Кам'янське. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія». – Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, 2021.

У роботі вперше надано екологічну оцінку м. Кам'янське за вмістом і розповсюдженням кадмію в ґрунтах за генетичними горизонтами латерально та радіально до глибини 150 см. Представлено сучасну еколого-класифікаційну характеристику ґрунтів за рівнем забруднення кадмієм окремих адміністративних районів міста та Кам'янського в цілому. Встановлено взаємозв'язок між векторами забруднення плантоземів, природних порушених ґрунтів і ристоземів та фізико-хімічними властивостями едафотопів урбанізованих територій міста. За результатами аналізу ступеня забруднення та закономірностей розподілу кадмію в едафотопах території міста виділено помірний, сильний та дуже сильний ступені забруднення ґрунтів адміністративних районів, що дозволило скласти наступний ряд: Дніпровський (2,62) < Південний (3,51) < Заводський (4,27). Розподіл валової та рухомої форм Cd в усіх досліджених ґрунтах пробних ділянок (точок) показав, що цей важкий метал концентрується у верхній частині ґрунтового профілю та його вміст відносно рівномірно зменшується за глибиною. Проведено інтерполяцію отриманих результатів варіювання концентрації кадмію у ґрунтовому розрізі глибиною 150 см з використанням інструментів програмного забезпечення ArcGIS модулю Spatial Analyst, що дозволило виявити аномальні зони вмісту його валових форм у ґрунтах міста і в цілому.

**Ключові слова:** вміст кадмію, едафотопи, екологічна характеристика, урбанізовані території, оцінка ступеня забруднення, закономірності розподілу, моделювання, інтерполяція, антропо-техногенне забруднення.

## АННОТАЦІЯ

**Гулько С. А.** Закономерности распределения кадмия в эдафотопах урбанизированных территорий г. Каменское. – Квалифицированная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.16 «Экология». – Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепр, 2021.

В работе впервые предложена экологическая оценка г. Каменское по содержанию и распределению кадмия в почвах по генетическим горизонтам латерально и радиально (0–150 см). Представлена современная эколого-классификационная характеристика почв по уровню загрязнения кадмием отдельных административных районов города и Каменского в целом. Установлена взаимосвязь между векторами загрязнения плантоземов природных нарушенных почв, ристоземов и физико-химическими свойствами эдафотопов урбанизированных территорий города. По результатам анализа степени загрязнения и закономерностей распределения кадмия эдафотопами территории города определены умеренная, сильная и очень сильная степени загрязнения почв административных районов, что позволило составить восходящий ряд: Днепропетровский (2,62) < Южный (3,51) < Заводский (4,27). Распределение валовой и подвижной

форм кадмия во всех исследуемых почвах пробных площадей (точках) показал, что Cd концентрируется в верхней части почвенного разреза и его содержание относительно равномерно уменьшается с глубиной почвенного профиля. Проведена интерполяция полученных результатов варьирования концентрации кадмия в почвенном профиле глубиной 150 см с использованием инструментов программного обеспечения ArcGIS модуля Spatial Analyst, что позволило определить аномальные зоны содержания его валовых форм в почвах города в целом.

**Ключевые слова:** содержание кадмия, эдафотопы, экологическая характеристика, урбанизированные территории, оценка степени загрязнения, закономерности распределения, моделирование, интерполяция, антропо-техногенное загрязнение.

### SUMMURY

Hunko S.A. The Regularity of Cadmium Dispersal at the Urbanized Terrain Edaphotopes of the City of Kamianske. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for the candidate degree of biological sciences, specialty 03.00.16 “Ecology”. – Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, 2021.

For the first time, this work has assessed ecological condition of the city of Kamianske according to cadmium content and distribution in soil genetic layer (0 – 150 cm); showed modern ecological classified characteristic of cadmium contamination of soil of the city of Kamianske generally and in certain administrative districts; studied ecomorphological and physico-chemical abilities of the edaphotopes of different administrative city districts; identified the connection between vectors of pollution of plantsoils, surface-transformed natural soils and lawn soils and physico-chemical edaphotopes' abilities of the urban territory of the city. According to results of analyses of contamination level and regularity of cadmium distribution in the edaphotopes of the city territory, there were highlighted the lowest (weak), high and very high soil contamination levels in administrative districts, which let provide next number line: Dniprovsky (2,62) < Pivdenny (3,51) < Zavodsky (4,27).

It was established, that content of cadmium in soils of the city of Kamianske distinguishes spatial heterogeneity and widely varies: in gross form varies within 0,6 – 7,5 mg/kg, but in active – 0,1 – 3,4 mg/kg of soil. The content of active forms of cadmium in soils horizons of right-bank part of the city indicates steadiness of its conditions of getting technogenic pollutants and ability of local biogeocenoses to remain relative stability in the conditions of changing environmental factors. The value of the active forms content, expressed as a percentage of the total content, varies from 17,72 to 73,53 %, providing evidence of the technogenic origin of cadmium in Kamianske city topsoil.

Having applied an experience of soil classification of Steppe zone of Ukraine, according to level distinctness anthropogenic influence, the soils of Kamianske were labeled as: properly urban soils, plantsoils, anthropogenic-surface-transformed natural soils as well as lawn soils.

The complex analysis of physical and chemical abilities of city edaphotopes showed: according to humus concentration studied soils were labeled as medium provided

and well provided: according to granulometric composition edaphotopes were defined as medium loamy and sandy loam; according to carbonate content – medium carbonate and low carbonate; according to pH determination of aqueous extract alkaline reaction is a typical phenomenon of urban ecosystem.

The analysis of distribution of gross and active forms of Cd at the test plots (spots) of studied soils showed, that cadmium masses in the high part of soil horizon and, relatively, decreases its content uniformly with lowering of genetical soil horizons of the lay of city landscapes.

The maximal cadmium accumulation is observed in soils, which are under the highest anthropogenic pressure, particularly, near by big industrial factories and traffic intersections, which are pivotal sources of cadmium emission to Kamianske's air and as a result to its soil covering. The highest concentration of cadmium content is noted for profiles 1 to 6, in particular for a root-saturated ground horizon (up to 50 cm), being also the evidence of the man-caused impact upon cadmium income to the soil layer.

The data of cadmium content in oak-maple-false-acacia plantations was used for intention of migration calculation. The forest floor of studied man-made plantation at the right bank of the city contents 3,79 centners of cadmium/ha; the litterfall (leaf litter) contents 1,11 centners of cadmium/ha; the forest floor of same plantation of the left bank contents 6,14 centners of cadmium/ha; the litterfall (leaf litter) contents 1,67 centners of cadmium/ha. The content proportion of heavy metals in the forest floor and litterfall (forest-floor-litterfall factor - FFLF) lets characterize the speed of element circulation in the soil-plant system – the intensity (FFLF) of the biological cadmium cycle in man-made plantations of the city of Kamianske is 3,41 and 3,67 accordingly. It is drugged cycle type.

The assessment of cadmium distribution in edaphotopes of Kamianske's urban systems by vertical soil profile (0 – 150 cm) and interpolation of results have been provided by means of GIS technologies for the first time.

According to the content of gross and active forms of cadmium it was provided territorial prognosis of edaphotopes' conditions by means of GIS method of interpolation. According to the method of ordinary kriging, the results of the interpolation of the content cadmium dispersal (gross and active forms) on the territory for certain soil horizons were presented. It gave an opportunity identify anomalistic zones of cadmium content. These results indicate gradual decreasing by area of zone, however, it maintains the bigger values of concentration of heavy metal to the side of its decrease, changing configuration of zone with certain content of cadmium.

There is a complex of factors which exert influence on content and dispersal of gross and active cadmium forms. Physico-chemical characteristics of soil (humus content, granulometric composition, carbonate content and pH), terrain relief (altitude), climate peculiarity (wind rose) and proximity to source of contamination are among these factors.

*Keywords:* content of cadmium, edaphotopes, ecological characteristic, urbanized terrains, concentration factor, regularity of dispersal, modelling, interpolation, technogenic pollution.

Підписано до друку 24.02.2021  
Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк цифровий.  
Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим. Замовлення № 038.

Видавництво та друкарня ПП «Ліра ЛТД».  
вул. Наукова, 5, м. Дніпро, 49107.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів  
та розповсюджувачів видавничої продукції  
ДК № 6042 від 26.02.2018.

[dnipro/lira@gmail.com](mailto:dnipro/lira@gmail.com) | +38 (067) 561-57-05 | [lira.dp.ua](http://lira.dp.ua)