

Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
Міністерство освіти і науки України
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ГУНЬКО СВІТЛАНА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 574.3+504.054:546.48

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

03.00.16 – екологія

Біологічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ С. О. Гунько

Науковий керівник: Цветкова Ніна Миколаївна,
доктор біологічних наук, професор

Дніпро – 2021

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 ході проведення досліджень, згідно мети та завдань дисертаційної роботи, визначено вміст та розповсюдження кадмію у валовій та рухомій формах в едафотопях урбосистем у латеральному та радіальному напрямках у межах м. Кам'янське. Вперше вивчено розподіл кадмію за ґрунтовим розрізом глибиною 150 см усіх екологічних профілів насипних та природних ґрунтів.

Застосовано наступні методи дослідження: класичні геоботанічні методи польових досліджень та загальноприйняті методики лабораторних аналізів ґрунтів, опаду та підстилки. Фізичні, фізико-хімічні та хімічні властивості ґрунтів досліджувались на базі лабораторій кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Вміст важких металів у ґрунтах і рослинах визначався методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Математичну обробку отриманих результатів проведено згідно методів варіаційної статистики з використанням комплексного системного кореляційного та регресійного аналізів, з рівнем значущості 95 %.

У роботі уперше надано екологічну оцінку м. Кам'янське за вмістом і розповсюдженням кадмію в ґрунтах за глибиною 150 см; представлено сучасну еколого-класифікаційну характеристику ґрунтів за рівнем забруднення кадмієм кожного з адміністративних районів Кам'янського та міста в цілому.

Комплексний аналіз фізичних і хімічних властивостей едафотопів міста продемонстрував, що за вмістом гумусу досліджувані ґрунти належать до середньо забезпечених і добре забезпечених; дослідження гранулометричного складу

едафотопів характеризує їх як середньо суглинисті та супіщані; за ступенем карбонатності – середньокарбонатні та малокарбонатні. Визначення рН водної витяжки показало, що типовим явищем для урбоєкосистем є лужна реакція.

У дисертаційній роботі запропоновано уніфіковану класифікацію ґрунтів за екоморфологічними особливостями едафотопів саме для м. Кам'янське. Едафотопи міста Кам'янське були віднесені до наступних типів: ґрунти правобережної частини міста Кам'янське об'єднують екологічні профілі едафотопів № 1–4 (пробні ділянки 1–24) – ґрунти житлових масивів (екологічні профілі едафотопів № 1–4) належать до власне урбаноземів; ґрунти техногенної частини міста відносяться 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) відповідають типу природних порушених; ґрунти лівобережної частини Кам'янського (екологічний профіль едафотопів № 5: пробні ділянки 25–29) намивні та класифікуються як рістоземи.

Уміст валових і рухомих форм кадмію в генетичних горизонтах основних типів ґрунтів еталонних (умовно-чистих природних) і урбанізованих (антропо-техногенно забруднених) територій варіює в достатньо широкому діапазоні: в валовій формі – в межах 0,6–7,5 мг/кг, в рухомій – 0,1–3,4 мг/кг ґрунту.

Для доповнення характеристики закономірностей розподілу кадмію в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське нами було визначено показник вмісту рухомих форм, який виражений у відсотках від валової концентрації. Показники рухомості кадмію у ґрунтах м. Кам'янське варіюють в діапазоні від 17,72 до 73,53 %. Максимальні значення показника рухомості відмічено (73,53 та 59,14 %) у власне урбаноземах сходу та центру правобережної частини міста, відповідно. Мінімальне значення показника рухомості кадмію (17,72 %) у ґрунтах зафіксовано у плантоземах заходу правобережної частини Кам'янського.

Максимальна акумуляція кадмію спостерігається в ґрунтах, що перебувають умовах посиленого антропо-техногенного пресу, а саме розташованих поблизу великих промислових підприємств і транспортних розв'язок, що виступають основними джерелами надходження кадмію у повітря м. Кам'янське та, як наслідок,

у його ґрунтовий покрив. Загальний висновок даних щодо вмісту кадмію в едафотобах свідчить, що адміністративні райони м. Кам'янське складають висхідний ряд: Дніпровський (0,62–5,53) – Південний (1,02–6,54) – Заводський (1,57–7,58) мг/кг абсолютно сухого ґрунту.

Аналіз розподілу валової форми Cd латерально (шар ґрунту 0–150 см) в ґрунтах екологічних профілів дозволив виділити наступні види геохімічної структури ландшафтів: екологічний профіль едафотопів № 2 – висхідний (асцендіальний), екологічний профіль едафотопів № 1 – спадний (дисцендіальний), екологічні профілі едафотопів № 3 і № 4 – пікоподібна латеральна структура, екологічний профіль едафотопів № 5 – рівномірна латеральна структура. Аналіз радіального розподілу валової та рухомої форм Cd на пробних ділянках (точках) едафотопів, які підлягали дослідженню, показав, що кадмій міститься у верхній частині генетичного горизонту та достатньо рівномірно зменшує концентрацію вниз по ґрунтовому профілю ландшафтів міста. Визначення радіального виду структури ландшафтів показав, що екологічні профілі едафотопів № 1–4 – гумусовий, а в екологічному профілі едафотопів № 5 класифікується як невиразний.

Аналіз розподілу валової та рухомої форм Cd в усіх на пробних ділянках (точках) ґрунтів, які підлягали дослідженню, продемонстрував, що кадмій міститься у верхній частині ґрунтового горизонту та відносно рівномірно зменшує вміст зі зниженням генетичних горизонтів ґрунтового профілю міських ландшафтів.

У роботі виконано кореляційний аналіз взаємозв'язку концентрації кадмію в едафотобах урбанізованих територій Кам'янське з конкретно обраними фізико-хімічними характеристиками ґрунту: сухий залишок, вміст хлорид-іонів, вміст карбонатів, гранулометричний склад, вміст гумусу, рН водної витяжки, об'ємна вага. Виявлено статистично доведений зв'язок – позитивний кореляційний – з величиною вмісту гумусу ($r = 0,75$), рН ($r = 0,67$), гранулометричним складом – вмістом фізичної глини ($r = 0,69$) та вмістом карбонатів ($r = 0,58$).

Адміністративні райони міста Кам'янське за оцінкою ступеня забруднення ґрунтів кадмієм K_c , який визначається як перевищення коефіцієнту концентрації кадмію над фоновим рівнем, складають наступний ряд: Дніпровський (2,62–

помірний) < Південний (3,51–сильний) < Заводський (4,27–дуже сильний).

Отримані дані опадо-підстилкового коефіцієнту як індексу інтенсивності біологічного кругообігу Cd для м. Кам'янське дубово-кленово-білоакацієвих фітоценозів дають підставу свідчити про наявність загальмованого типу біологічного кругообігу у досліджуваних компонентах біогеоценозу (бал 6, згідно шкали показників Базилевич, Родіна). Визначено показники міграції кадмію в досліджуваних фітоценозах, розраховані запаси кадмію у штучних насадженнях і співвідношення вмісту важкого металу у підстилці й опаді (ОПК), що надало можливість класифікувати швидкість кругообігу елементу в підсистемі опад-підстилка.

Розроблені математичні рівняння моделювання вмісту валової форми кадмію у екологічному профілі едафотопів № 2 міста Кам'янське, складені рівняння множинної регресії. Характерною рисою для всіх математичних рівнянь умісту валової форми кадмію в едафотопах Кам'янського відмічено факт існування високого позитивного коефіцієнту множинної кореляції.

Проведено територіальний прогноз стану едафотопів за вмістом валових та рухомих форм кадмію методом інтерполяції із застосуванням геоінформаційних технологій. За методом ординарного крігінга наведені результати інтерполяції розповсюдження вмісту кадмію (валової та рухомої форм) на території міста для відповідних ґрунтових горизонтів, що дозволило виявити аномальні зони. Проведена інтерполяція результатів вимірів для всіх горизонтів свідчить про поступове зменшення за площею зони з більш високими концентраціями важкого металу у бік їх зниження, змінюючи при цьому конфігурацію зони з певним вмістом кадмію.

Згідно проведеного просторового аналізу вмісту кадмію в едафотопах м. Кам'янське встановлено аномальні зони на перетині проспектів Свободи, Шевченко та Гімназичного (т. 4–6), що підтверджують результати досліджень за ґрунтовими профілями.

Використання геоінформаційних методів, надало можливість територіально спрогнозувати певну зону на північному перетині екологічного профілю едафотопів

№ 2 (т. 1–6), де, ймовірно, відмічено не тільки значну концентрацію кадмію, а і постійне її накопичення у верхніх шарах ґрунту (0–10 см). У межах даного ґрунтового горизонту територіально прогнозовані зони, на яких потенційно можливий вміст валової форми кадмію, наприклад, концентрацією 4,7–5,4 мг/кг, не тільки в межах точки 3, а й на території, що має форму еліпсу навколо точок 5–6. Проведене нами територіальне моделювання результатів вимірів для всіх горизонтів свідчить про поступове зменшення за площею зони з більш високими концентраціями важкого металу у бік зниження його вмісту, змінюючи при цьому конфігурацію зони з певним вмістом кадмію.

Матеріали дисертаційної роботи використані департаментом екології та природних ресурсів м. Кам'янське для роботи з впровадження у місті «Системи комплексного екологічного моніторингу», опрацювання питання розробки проєкту «Екологічної програми міста на 2021–2025 роки», розробки програми «Адаптації міста до зміни клімату». Матеріали дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара при викладанні дисциплін «Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище» та «Моделювання та прогнозування стану довкілля», у Дніпровському державному технічному університеті – при викладанні дисциплін: «Основи біогеохімії», «Урбоекологія».

Отримані дані у роботі з вмісту кадмію в едафотобах урбанізованих територій м. Кам'янське потребують постійних моніторингових досліджень і узгоджуються з «Програмою розвитку земельних відносин і охорони земель у Дніпропетровській області на 2011–2018 роки», термін дії якої закінчився та знаходиться на контролі. Оцінка антропо-техногенної дії на ґрунтовий покрив міста Кам'янське актуальна в плані розширення інформаційної бази спостережень, що відповідає сучасним задачам моніторингу стану навколишнього середовища.

Ключові слова: вміст кадмію, едафотопи, екологічна характеристика, урбанізовані території, коефіцієнт концентрації, закономірності розподілу, моделювання, моніторингові дослідження, інтерполяція, техногенне забруднення

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.

Conducting researches and according to the aim and tasks of the dissertational work, there were determined the content and distribution of gross and active forms of cadmium in the edaphotopes of the urban ecosystems of the city of Kamianske was considered and obtained laterally and radially. For the first time, the dispersal of cadmium has been studied according to soil layer in 150 cm horizon of all ecological profiles of natural soils or anthropogenically modified ones.

There were used next study methods: classical geobotanical methods of field research and generally accepted methods of laboratory soil, litterfall and forest floor analyses. Physical, physico-chemical and chemical soil abilities were studied on the basis of laboratories of departments of geobotany, soil science and ecology of Oles Honchar Dnipro National University. The content of heavy metals in soil and plants was established according to the method of atomic absorption spectroscopy. The mathematical processing of received results was carried out according to statistics of variations, applying complex systematic correlation and regressive analyses with value of 95%.

For the first time, the ecological condition of the city of Kamianske has been assessed according to cadmium content and distribution in ground genetic layers (0–150 cm); showed modern ecological classified characteristic of cadmium contamination of soil of the city of Kamianske generally and in certain administrative districts.

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.

This work proposes the uniform soil classification according to ecomorphological edaphotopes' peculiarities for the city of Kamianske. Kamianske's edaphotopes were referred to: soils of the right bank city part of Kamianske form ecological profiles of edaphotopes № 1–4 (test plots 1–24) – soils of housing blocks (ecological profiles of edaphotopes № 1–4) were labelled as properly urban soils; soils of the industrial part of the city are typical of plantosoils (ecological profiles of edaphotopes № 1–3; test plots 7–11 and 12–18); soils of recreational area (ecological profiles of edaphotopes № 2–4; test plots 1–6 and 19–24) are typical of surface-transformed natural ones; soils of the left bank city part of Kamianske (ecological profile of edaphotopes № 5; test plots 25–29) are alluvial and typical of lawn soils.

The content of gross and active forms of cadmium in the genetic horizons of main soil types of conditionally clean natural (standard) and anthropogenically polluted (urbanized) landscapes widely varies: in gross form varies within 0,6–7,5 mg/kg, in active – 0,1–3,4 mg/kg of soil.

We have determined an index of active cadmium form content, which was evaluated from gross one, for the supplementation of cadmium characteristics of the dispersal regularity in the edaphotopes of urban terrains of Kamianske. The value of the active forms content, which is expressed as a percentage of the total content, varies from 17,72 to 73,53 %. The maximal mobility values were identified (73,53 and 59,14 %) in properly urban soils of southern and central right bank part of the city, accordingly. The minimal cadmium mobility values (17,72 %) were identified in plantosoils of the western right bank part of Kamianske.

The maximal cadmium accumulation is observed in soils, which are under the highest anthropogenic pressure, particularly, nearby 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 data generalization of cadmium content in the soil covering

affirms that administrative districts form next rising number line: Dniprovsky (0,62–5,53) – Pivdenny (1,02–6,54) – Zavodsky (1,57–7,58) mg/kg of absolutely dry soil.

The lateral analysis of gross cadmium form (soil layer 0–150 cm) in the soils of ecological profiles lets distinguish next types of geochemical landscape structures: ecological profile of edaphotopes № 2 – increasing (accidental), ecological profile of edaphotopes № 1 – decreasing (descendental), ecological profiles of edaphotopes № 3 and № 4 – peak similar lateral structure, ecological profile of edaphotopes № 5 – balanced lateral structure. Radial analysis of gross and active cadmium forms dispersal on the test plots (spots) of studied soils showed, that cadmium concentrates in the high layers of soil profiles and relatively decreases uniformly down by soil of urban landscape profile. Radial type of landscape structure of ecological profiles of edaphotopes № 1–4 – humus, in ecological profile of edaphotopes № 5 – indistinct.

It was made correlation analyses of interrelation of soil cadmium of the city of Kamianske with properly selected physico-chemical characteristics of soil: dry solid, chloride ions, carbonate content, granulometric composition, humus content, pH of aqueous extract, weight by volume. It was determined mathematic proved connection – correlational positive – with humus amount ($r = 0,75$), pH ($r = 0,67$), with a content of physical clay ($r = 0,69$) and carbonates ($r = 0,58$).

The administrative districts of Kamianske according to assessment level of cadmium soil pollution K_c , which is determined as concentration factor excess over background level, form next number line: Dniprovsky (2,62–temperate) < Pivdenny (3,51–high) < Zavodsky (4,27–extremely high).

Received data of forest-floor-litterfall coefficient (FFLC) as factor of the intensity of the biological cadmium cycle in Kamianske's oak-maple-false-acacia plant community attests drugged biological cycle type in the studied ecosystems (6-point, according to the scale of number scale). There were determined the intensity of cadmium migration in studied ecosystems, calculated microelement reserves in man-made plantations and relation of heavy metal content in a forest floor and a litterfall (FFLC), what gave an opportunity to characterize speed of element cycle in the litterfall-forest-floor subsystem.

There were presented mathematical models of gross cadmium form content in Kamianske's soils and formulated an equation of plural regression. Characteristic feature for all mathematical equations of gross cadmium form content in city's edaphotopes is a presence of a positive factor of the plural correlation.

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.

According to conducted spatial analysis of cadmium content in Kamianske's edaphotopes there were identified anomalous areas on the intersection of Svobody, Shevchenko and Himnazychny avenues (spots 4–6), what proves results of soil horizons studies.

The usage of GIS methods gave an opportunity spatially prognosticate certain area at the northern border of ecological profile of edaphotopes № 2 (spots 1–6), where, in all probability, not only the high content of heavy metal was noticed, but also its permanent accumulation in the high soil horizons (0–10 cm). There were modeled areas in borders of this horizon, on which are possible concentration of gross cadmium form, for example, in the range from 4,7 to 5,4 mg/kg, not only at the spot 3, but on the territory, which looks like ellipsis around spots 5 and 6. Conducted territorial result modeling of surveys for all horizons attests about gradual decrease by area's space with higher concentration of heavy metal to the side of decrease of its content, changing area configuration with certain cadmium content.

The materials of candidate dissertation can be used by Kamianske department of ecology and natural resources and can be useful for application in the city "The system of complex ecological monitoring", elaboration of the "Ecological program of the city during 2021–2025", elaboration of the adaptational climate changing city program. The materials

of candidate dissertation were introduced into the educational process of Oles Honchar Dnipro National University at the lectures of academic disciplines “Rationing of an anthropogenic load on the environment” and “Modeling and prognosis of environmental condition” and into the educational process of Dnipro State Technical University at the lectures of academic disciplines “Principles of biogeochemistry” and “Urban ecology”.

The data on the content of cadmium in the urban terrain edaphotopes of the city of Kamianske requires detailed analyses, permanent monitoring researches and concordance with “Program of ground relations and ground protection development in Dnipropetrovsk oblast in the period of 2011–2018”, which term has been ended and is under control. The assessment of anthropogenic effect on the city soil covering is urgent in the sense of an informational monitoring base widening, what agree with tasks of environmental condition monitoring.

Keywords: content of cadmium, edaphotopes, ecological characteristic, urbanized terrains, concentration factor, regularity of dispersal, modeling, monitoring researches, interpolation, technogenic pollution.

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати 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 (*особистий внесок: опрацьовано літературні джерела, оброблено матеріал, проаналізовано результати, здійснено переклад й 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 (*особистий внесок:*

опрацьовано літературні джерела, оброблено матеріал, проаналізовано результати й оформлення для публікації) (*Web of Science*).

3. **Гуцько, С. О.** (2015). Екологічні особливості розповсюдження кадмію в едафотобах урбанізованих територій степового Придніпров'я (на прикладі м. Дніпродзержинська), *Ґрунтознавство*, 16(3–4), 52–59. doi: 10.15421/041517 (*Index Copernicus International*).
4. **Гуцько 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 рекультивациі 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 едафотобах урбанізованих територій Степового Придніпров'я. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі 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, підготовлено до публікації).

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). Haifa.

10. Дубина, А. О., **Гуцько, С. О.** (2019). Різноманіття кругообігів органічно-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 симпозіуму.* (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 урбанізованому ґрунті. *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. Днепропетровска. *Проблемы недропользования: Рабочие материалы международного форума-конкурса молодых ученых*. (С. 114). Санкт-Петербург: СПбГИ.
25. **Гулько, С. О.** (2009). Вміст та розповсюдження кадмію в системі ґрунт–рослина в біогеоценозах міста Дніпропетровська. *Молодь і поступ біології*: збірник тез V міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів. (С.53–54). Львів: ЛНУ ім. І.Франка.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ КАДМІЮ В ЕДАФОТОПАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ.....	24
1.1. Ґрунти міських територій: особливості їх діагностики	24
1.2. Біолого-екологічна характеристика кадмію, як одного з найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища.....	27
РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	43
2.1. Географічне розташування та кліматичні особливості Дніпропетровської області.....	43
2.2. Фізико-географічна характеристика м. Кам'янське	44
РОЗДІЛ 3. ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	53
3.1. Об'єкти досліджень.....	53
3.2. Методи досліджень.....	56
РОЗДІЛ 4. КЛАСИФІКАЦІЯ ҐРУНТІВ м. КАМ'ЯНСЬКЕ ЗА СТУПЕНЕМ ВИРАЗНОСТІ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ.....	61
4.1. Загальна характеристика та особливості генезу, будови і властивостей ґрунтів м. Кам'янське	61
4.2. Коротка фізико-хімічна характеристика едафотопів урбанізованих територій м. Кам'янське.....	69
Висновки по розділу	
РОЗДІЛ 5. ВМІСТ КАДМІЮ В ЕДАФОТОПАХ МІСТА.....	77
5.1. Латеральний та радіальний розподіл Cd в едафотопях м. Кам'янське.....	77
5.2. Показники рухомості кадмію в едафотопях м. Кам'янське як один із факторів закономірностей його розподілу.....	100
5.3. Розподіл концентрацій валових та рухомих форм кадмію в едафотопях м. Кам'янське.....	102
5.4. Варіювання вмісту кадмію у ґрунтах м. Кам'янське.....	104
5.5. Оцінка забруднення едафотопів урбанізованих територій	109

5.5.1. Корелятивна характеристика вмісту кадмію в едафотопях м. Кам'янське..	109
5.5.2. Оцінка ступеня забруднення важкими металами ґрунтів урбанізованих територій м. Кам'янське.....	111
Висновки по розділу	
РОЗДІЛ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ БІОЛОГІЧНОГО КРУГООБІГУ РЕЧОВИН ТА КАДМІЮ В ШТУЧНИХ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕННЯХ.....	118
6.1. Індекс інтенсивності біологічного кругообігу речовин як один із показників закономірностей розподілу кадмію в урбанізованих територіях м. Кам'янське	118
6.2. Різноманіття кругообігів органо-мінеральних речовин у штучних лісових насадженнях степового Придніпров'я	124
Висновки по розділу	
7. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАБРУДНЕННЯ ЕДАФОТОПІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ м. КАМ'ЯНСЬКЕ	129
7.1. Математичні моделі забруднення кадмієм едафотопів урбанізованих територій.....	129
7.2. Інтерполяція вмісту кадмію в ґрунтах урбанізованих територій.....	133
Висновки по розділу	
ВИСНОВКИ.....	150
Перелік посилань	153
ДОДАТОК А.....	180
ДОДАТОК Б.....	182
ДОДАТОК В.....	186

ВСТУП

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 пріоритетних проблем і вивчення просторової диференціації урбанізованих територій з метою створення комфортного середовища проживання міського населення [22].

Це стимулює розробку нових або удосконалення раніше розроблених показників інтегральної (комплексної) оцінки, використання нових прийомів картографування, 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 [115].

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 – Cd [39].

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 [95, 69–71, 138], але наявні на сьогодні дані є фрагментарними, неповними та розрізненими й потребують термінового доопрацювання.

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

Для досягнення мети поставлено 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 едафотопях 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 елемента в ґрунтах міста;
- 6) оцінити екологічний стан ґрунтів за вмістом кадмію, з метою виявлення закономірностей його розподілу в едафотопях 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 загальноприйнятні методики лабораторних аналізів ґрунтів, опаду 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 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 международной заочной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке» (Харьков, 2015), міжнародної науковій конференції «Екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони України» (Дніпро, 2016, 2018), міжнародній науково-практична конференція, присвяченій 90-річчю з дня народження чл.-кор. НАН України, д.б.н., професора А. П. Травлеєва «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.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РОЗПОДІЛУ КАДМІЮ В ЕДАФОТОПАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

1.1. Ґрунти міських територій: особливості їх діагностики.

На формування певного типу ґрунту та ґрунтового профілю впливають клімат, материнські підстилаючі породи, рельєф, характер водообмінних процесів, тип природної рослинності, що є характерною для даної кліматичної зони, тварини та мікроорганізми, що населяють ґрунт [21, 23, 27–29, 30, 269].

В останні століття важливим фактором ґрунтоутворення є діяльність людини. В процесі науково-технічного прогресу людства, який спричинив революцію, на Землі з'явилися нові елементи штучного походження, як то: будівлі, промислові підприємства, транспортні та інженерні комунікації, які значним чином впливають на природне середовище, змінюючи як окремі біогеоценози, так і біосферу в цілому [48, 60, 115, 149, 251].

На урбанізованих територіях, порівняно з природними, антропогенний фактор у ґрунтоутворенні можна вважати пріоритетним [8, 22, 110].

Ґрунт є досить специфічним компонентом біосфери, оскільки він не тільки накопичує різні забруднюючі компоненти, але й виступає як природний буфер, що контролює перерозподіл хімічних елементів і сполук в атмосферу, гідросферу та живу речовину. Важкі метали, що накопичуються в ґрунтах, достатньо повільно видаляються при вилугованні, використанні рослинами, ерозії та інше [16]. Рослини можуть накопичувати важкі метали в тканинах або на поверхні органів, тому вони є проміжною ланкою через яку важкі метали потрапляють з ґрунту, частково з води та повітря до організму людини та тварин [14, 15, 20].

За своїм походженням важкі метали в ґрунті поділяються на три групи [27,35]:

- 1) літогенні, що є в складі гірських порід;
- 2) педогенні, що пов'язані з ґрунтом;
- 3) антропогенні, що надходять до ґрунтового покриву в результаті діяльності людини.

Найбільш небезпечною є третя група.

Ґрунт має величезне значення в утилізації, знешкодженні рідких і твердих відходів. У цьому процесі приймає участь величезна кількість мікроорганізмів, простіших багатокліткових та інших мешканців ґрунту. В результаті їхньої життєдіяльності в ґрунті відбувається розпад органічних речовин на нешкідливі для людини і корисні для рослин мінеральні солі, вуглекислоту і волю. Крім того, в результаті діяльності мікроорганізмів в ґрунті утворюється особлива органічна речовина – гумус (перегній), що сприяє підвищенню родючості. Такий процес самоочищення порушується або під впливом природно-кліматичних умов, або в результаті антропогенного забруднення [26, 68].

На території міст ґрунти зазнають забруднення, яке можна розділити на механічне, хімічне та біологічне [3].

Механічне забруднення – надходження до ґрунтів великих уламків матеріалів у вигляді будівельного сміття, битого скла, кераміки та інших відходів. Це обумовлює несприятливий вплив на механічний склад ґрунтів.

Хімічне забруднення – проникнення до ґрунту речовин, які змінюють природну концентрацію хімічних елементів, перевищуючи норму та зумовлюючи зміну їх фізико-хімічних властивостей. Цей вид забруднення можна вважати найбільш розповсюдженим, довгостроковим та небезпечним.

Біологічне забруднення – привнесення до ґрунтового середовища та розмноження в ньому шкідливих для людини організмів. Бактеріологічні, гельмінтологічні та ентомологічні показники стану ґрунтів міських територій визначають рівень їх епідеміологічної небезпеки. Ці види забруднень підлягають постійному контролю, перш за все, на територіях селітебної та рекреаційної зон міста.

Джерела забруднення ґрунтів важкими металами міських територій – викиди промислових підприємств [115].

Вміст важких металів у ґрунтах – це сума вихідного вмісту і техногенного надходження за весь період існування ґрунту, тому що хімічні властивості важких металів визначають їхню слабку рухливість у ґрунтовому профілі. Вони утворюють у ґрунтах важкорозчинні сполуки, а також незворотно поглинаються мінеральними

й органічними компонентами ґрунтів, що робить забруднення ґрунтів важкими металами особливо небезпечним. У великих містах максимальна кількість важких металів в опадах спостерігається в зимові місяці, тому що в результаті температурних інверсій промислові забруднення накопичуються в приземному шарі повітря, у зимовий час збільшується також вміст важких металів у викидах теплоелектростанцій. Однак, влітку значно вищі потоки, пов'язані з рухом автотранспорту, й зростає загальне пилове навантаження [65, 77, 115, 178, 282].

Важкі метали характеризуються різною активністю ґрунтової міграції, накопичуються у верхньому ґрунтовому горизонті. Зазвичай, значна забрудненість ґрунтів фіксується в межах промислових зон, звалищ побутового сміття, автомобільних доріг. Самоочищення ґрунтів практично не відбувається, або відбувається дуже повільно. Токсичні речовини накопичуються в ґрунті, що призводить до поступових змін його хімічного складу. Це означає, що забрудненими ділянки залишатимуться протягом десятків років [76, 79, 89, 279, 280].

Розподіл важких металів та елементів-забруднювачів у ґрунтах дуже складний процес, обумовлений цілою низкою чинників, серед яких найважливіша роль належить типам ґрунтів, їх окисно-відновним і кислотно-основним властивостям, вмісту в них органічних речовин, гранулометричному складу, і навіть водно-тепловому режиму і геохімічному фону регіону [92].

Найбільшу небезпеку сьогодення становить локальне забруднення едафотопів, яке, за певних умов, формує техногенні геохімічні аномалії [55, 273].

Найвагомішими критеріями сили антропогенного тиску на природне середовище в межах урбанізованих територій виступають розміри міста, щільність забудови, господарський профіль урбоутворення. Екологічні характеристики урбанізованого району за високої міри наближеності агломерацій між собою значно гірші, ніж окремої агломерації, через ефект накладання антропогенних навантажень на одну територію. Головною проблемою, що потребує постійної уваги та вирішення, виступає комплексне екологічне дослідження ступеня забруднення важкими металами. На особливу увагу заслуговує кадмій, як один з

найнебезпечніших токсикантів середовища, що здатний до утворення значних за площею геохімічних аномалій [61, 63, 161, 202].

1.2. Біолого-екологічна характеристика кадмію, як одного з найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища

Фізичні та хімічні властивості. Кадмій (лат. Cadmium – Cd) – хімічний елемент II групи періодичної системи Д. І. Менделєєва, атомний номер 48, атомна вага 112,41, складається з суміші 8 стабільних ізотопів. Сріблясто-білий м'який метал з синюватим відливом, ковкий, тягучий, легкоплавкий ($t_{\text{плав.}} = 321,1 \text{ }^\circ\text{C}$), щільність $8,65 \text{ г/см}^3$ (відноситься до важких металів). Хімічно подібний цинку, але менш активний. Виділений у 1817 році німецьким хіміком Ф. Штроемейером (Friedrich Stromeyer), вперше кадмій отриманий з оксиду цинку з домішкою кадмію. Звідси і назва – kadmeia по-грецьки означає «нечиста цинкова руда» [25, 39, 180].

Завдяки своїм фізичним і хімічним властивостям, кадмій знайшов широке застосування в техніці і промисловості (особливо, починаючи з 50-х років XX століття). Основні сфери його використання: створення антикорозійного покриття (кадміювання) чорних металів, особливо в тих випадках, коли є їх контакт з морською водою, а також для виробництва нікель-кадмієвих електричних акумуляторів. Кадмій входить до складу багатьох сплавів, як легкоплавких (наприклад, сплав Вуда (Wood's metal) – 50% Bi, 25% Pb, 12,5% Sn, 12,5% Cd), так і твердоплавких зносостійких (наприклад, сплав Cd з Ni). Цей елемент використовується в стрижнях-сповільнювачах атомних реакторів, деякі сполуки кадмію мають напівпровідникові властивості. Досить довго кадмій застосовувався для виготовлення барвників (пігментів), як стабілізатор при виробництві пластмас (зокрема поліхлорвінілу), проте, в даний час, в силу токсичності, для цих цілей він практично не використовується [52, 76, 237].

Розповсюдження у природі. Кадмій належить до рідкісних розсіяних елементів, його кларк (процентний вміст за масою) в земній корі, за даними різних авторів, представлений в табл.1.1.

Таблиця 1.1

Вміст кадмію в земній корі [99]

	Автори, рік	Вміст кадмію
Розповсюдженість елемента за масою, %	Ф. Кларк ,1924	$n \cdot 10^{-5}$
	В. М. Гольдшмідт з доповненням Ранкамії, 1938	$1,5 \cdot 10^{-5}$
	А. Є. Ферсман, 1960	$5 \cdot 10^{-4}$
	А. П. Виноградов, 1962	$1,3 \cdot 10^{-5}$
	С Р. Тейлор, 1964	$2 \cdot 10^{-5}$
	Ю. Одум, 1986	$1,3 \cdot 10^{-5} \%$
Атомний вміст, %	А. Є. Ферсман, 1960	$8 \cdot 10^{-5}$
	А. П. Виноградов, 1949	$7,6 \cdot 10^{-6}$

Для кадмію характерне концентрування в гідротермальних відкладеннях, міграція в гарячих підземних водах разом з цинком і іншими халькофільними елементами. Вулканічні породи містять до 0,2 мг/кг кадмію, серед осадових порід найбільш багаті кадмієм глини – до 0,3 мг/кг, вапняки містять 0,035 мг/кг, піщані ґрунти – 0,03 мг/кг. Середній вміст кадмію в ґрунті – 0,06 мг/кг [236].

Відомі самостійні мінерали кадмію – гринокіт (CdS), отавів ($CdCO_3$), монтепоніт (CdO) і селенід ($CdSe$), але своїх родовищ вони не утворюють, а присутні у вигляді домішок у цинкових, плюмбових, купрумних і поліметалічних рудах, які і є основним джерелом його промислового видобутку [82, 102, 238, 241, 243].

Вміст важких металів у ґрунтах залежить від складу вихідних гірських порід, значне різноманіття яких пов'язане зі складною геологічною історією розвитку територій [73, 88, 91]. Кадмій за своїми хімічними властивостями подібний до цинку, але відрізняється від нього більшою рухомістю в кислих середовищах і кращою доступністю для рослин. У ґрунтового розчині метал присутній у вигляді

Cd^{2+} та утворює комплексні іони та органічні хелати [248]. Головний фактор, що визначає вміст елементу в ґрунтах за відсутності антропогенного впливу, – материнські породи. Рухомість кадмію в ґрунті залежить від середовища та окисно-відновного потенціалу [133, 172].

Присутній кадмій в певних кількостях і в повітрі. За закордонними даними [173] його вміст в повітрі становить 0,1-5,0 нг/м³ в сільській місцевості, 2–15 нг/м³ – в містах і від 15 до 150 нг/м³ – в промислових районах. Це пов'язано з тим, що багато марок вугілля містять Cd у вигляді домішок. При спалюванні вугілля на теплоелектростанціях, кадмій потрапляє в атмосферу, при цьому істотна частина його осідає на ґрунт. Збільшенню його вмісту в ґрунті сприяє використання мінеральних добрив, оскільки практично всі вони містять незначні домішки кадмію[2].

Вважається, що Cd не входить до числа необхідних елементів для рослин, однак він ефективно поглинається як кореневою системою, так і листям. Розчинені форми Cd у ґрунті завжди легко доступні рослинам. Помітна доля цього елементу поглинається коренями пасивно, але може й метаболічним шляхом [49].

Посилення обробки кадмієм поступово знижує його частку, переміщуючись у поверхневі частини молодих листків. При цьому Cd локалізується, головним чином, в коренях, в менших кількостях – у вузлах стебел, стеблинок і головних жилках рослин [19].

Кадмій здатний накопичуватися в рослинах (найбільше в грибах) і живих організмах (особливо у водних). Токсичність кадмію для рослин виявляється в порушенні транспірації, гальмуванні активності ферментів і фотосинтезу, а також інгібуванні відновлення NO₂ до NO. Крім того, у метаболізмі рослин він є антагоністом ряду елементів живлення (Zn, Cu, Mn, Ni, Se, Ca, Mg, P). За токсичної дії металу в рослинах спостерігається затримка росту, пошкодження кореневищної системи та хлороз листя [17, 18, 242]. Кадмій достатньо легко надходить із ґрунту та атмосфери до рослин. За фітотоксичністю та здатністю накопичуватись в їх органах у ряді важких металів він займає перше місце (Cd>Cu>Zn>Pb) [240].

Кадмій, який міститься у рослинах, являє собою найбільшу небезпеку, тому що може слугувати джерелом надходження в організм людини та тварин. Тому толерантність і адаптація деяких рослинних видів до підвищеного вмісту кадмію, хоча вони й можливі з точки зору охорони навколишнього середовища, являють собою загрозу для здоров'я людини [77, 146, 151].

Шляхи надходження кадмію як антропо - техногенного забруднювача до навколишнього природного середовища. Кадмій широко відомий, як токсичний елемент [76, 158]. Основні проблеми, пов'язані у людства з цим елементом, обумовлені техногенним забрудненням навколишнього середовища та його токсичністю для живих організмів уже при низьких концентраціях [215, 260, 272].

В останній час на процеси міграції важких металів у природному середовищі інтенсивно впливає антропогенна діяльність [163–165, 212]. Кількості хімічних елементів, що надходять до навколишнього середовища в результаті техногенезу, у ряді випадків значно перевищують рівень їх природного надходження. У процесі надходження до природних циклів міграції, антропогенні потоки призводять до швидкого розповсюдження забруднюючих речовин у природних компонентах міського ландшафту, де неминуче відбувається взаємодія з людиною. Об'єми поллютантів, що містять важкі метали, щорічно зростають і наносять збиток природному середовищу, порушують існуючу екологічну рівновагу та негативно позначаються на здоров'ї людей [63, 64, 190, 231].

Загальний обсяг впливу суспільства на природу став перевищувати її відновлювальний потенціал на багатьох великих ділянках земної поверхні, що спричинило невиправні зміни середовища в регіональному масштабі. Проте треба зважати на те, що технічний прогрес не можна зупинити, не слід уже розраховувати на відновлення первісної природи, можна лише максимально зменшити шкідливі наслідки її забруднення.

Серед найбільш активних джерел надходження важких металів виділяються крупні індустріально розвинені міста. Метали порівняно швидко накопичуються в ґрунтах міст і досить повільно з них виводяться: період напіввиведення кадмію – до 1100 років [36, 179, 266].

Середня світова концентрація кадмію в ґрунті оцінюється в 0,41 мг/кг. У поверхневих ґрунтах основних районів сільськогосподарського виробництва США вміст Cd варіює в діапазоні < 0,01–2,00 мг/кг (середнє геометричне значення 0,175мг/кг). Вміст даного важкого металу в еталонних ґрунтах різних країн коливається від 0,06 до 4,3 мг/кг. Відносно високий вміст кадмію, до 8,9 мг/кг (в середньому 0,3 мг/кг), відмічається у деяких верхніх шарах ґрунту Словацької Республіки [64, 200]. У вірменському ґрунтовому стандарті не регламентується максимальний рівень Cd в ґрунті. Потрібно відмітити, що на сьогодні рівень забруднення ґрунтів кадмієм не регламентується існуючими в Україні нормативними документами [7]. Однак, з огляду на те, що цей мікроелемент належить до I (найвищого) класу небезпеки для ґрунтів, рослин, тварин і людини деякими науковцями запропоновані рівні його ГДК в ґрунті 3,0–4,0 мг/кг [38].

Досить багатогранним є питання нормування вмісту важких металів в ґрунті. В основі вирішення цього питання повинно знаходитись визнання поліфункціональності ґрунту. В процесі нормування ґрунт може розглядатись з різних позицій: як природне тіло, як середовище існування та субстрат для рослин, тварин і мікроорганізмів, як об'єкт і засіб сільськогосподарського виробництва, як природний резервуар, що містить патогенні мікроорганізми. Нормування вмісту важких металів у ґрунті необхідно проводити на ґрунтово-екологічних засадах, які відкидають можливість існування єдиних значень для всіх ґрунтів.

В. В. Добровольський [49] пропонує здійснювати визначення фонові концентрації важких металів відповідно до зонального ґрунту, тому що фоновий вміст елемента, згідно з ГОСТ 27593–88, це такий вміст елемента в ґрунті, що відповідає його природному складу [47, 50]. Однак в умовах урбанізованого середовища відбувається трансформація верхньої частини ґрунтового профілю, хоча треба зазначити, що ґрунт наслідує риси тієї материнської породи, на якій свого часу сформувався, отже, відбиває притаманний тільки їй фоновий вміст хімічних елементів, в тому числі важких металів, котрий може бути підвищений через аерогенне забруднення мікроелементами, що є складовими викидів в атмосферне повітря від промислових підприємств. Для України гранично допустима

концентрація валових форм кадмію у ґрунті становить 3 мг/кг ґрунту, а рухомих форм – 0,7 мг/кг ґрунту, для Дніпропетровського регіону регіональний рівень вмісту кадмію (валова і рухома форми) відповідає рівням ГДК України [125].

Основними джерелами антропогенного надходження кадмію у навколишнє середовище є теплові електростанції, металургійні підприємства, транспорт, кар'єри та шахти з видобутку поліметалічних руд, спалювання нафти та різних відходів, виробництво цементу, скла, добрив, хімічні засоби захисту сільськогосподарських культур від хвороб і шкідників та інші. Найпотужніші ореоли цього важкого металу утворюються в межах впливу підприємств чорної та кольорової металургії в результаті викидів до навколишнього середовища [190]. Дія забруднюючих речовин розповсюджується на десятки кілометрів від джерела надходження елементів до атмосфери. Так, важкі метали, в тому числі Cd, в кількості від 10 до 30 % від загального викиду до атмосферного повітря переміщується на відстань більше 10 км від джерела промислового викиду. Внаслідок цього фіксується комбіноване забруднення рослин, яке безпосередньо складається з розсіювання пилу та аерозолів поверхню листя та кореневого засвоєння мікроелементів, зокрема кадмію, що накопичувались у ґрунтах протягом тривалого часу надходження забруднень із атмосфери [65, 283].

За представленими даними можна оцінити потужність і розміри антропогенної діяльності людства: вклад кадмію техногенного походження складає 84-89 % (інше - природні джерела). Рівень техногенного надходження Cd з атмосфери в різних регіонах світу неоднаковий та залежить від ступеня розвиненості гірничо-збагачувальної та промислової індустрії, транспорту, урбанізованості територій. Надходження Cd з атмосфери на підстилаючі поверхні регіонів світу становлять [74] у Північній Америці – 7,36; у Азії – 2,58; в Європі – 1,59; Центральній та Південній Америці – 1,5; в Африці – 1,2; та Австралії – 0,22 тис. т/рік відповідно.

Вивчення дольової участі різних виробництв у глобальному потоці розсіювання важких металів фіксує, що 55 % надходження кадмію здійснюється внаслідок викидів підприємств з виробництва Ni та Cu. Надходження деякої кількості слідових елементів до компонентів навколишнього середовища забезпечує

сільське господарство, з широким застосуванням пестицидів та мінеральних добрив, зокрема відомо що в суперфосфатах містяться значні кількості кадмію [62].

Найсуттєвіше забруднення середовища викликають потужні теплові станції [37, 139]. Щорічно тільки при спалюванні вугілля до атмосфери викидається кадмію та його сполук в 40 разів більше, ніж було закладено природним біогеохімічним циклом до впливу антропогенної діяльності людства.

Суттєве забруднення біосфери відбувається внаслідок викидів автотранспорту. Автомобіль є джерелом надходження трьох видів викидів забруднюючих речовин: картерні гази, відпрацьовані гази, паливні випаровування. Найбільш об'ємними із них являються відпрацьовані гази, основними токсичними компонентами яких є оксид карбону, оксиди нітрогену, діоксид сірки, сажа, сполуки важких металів (Cd, Pb – та інші при етилованому бензині), поліциклічні ароматичні вуглеводні, бенз(а)пірен [115].

Металевий Cd застосовується в даний час в основному для виробництва нікель-кадмієвих батарей. У країнах Північної Європи на сьогоднішній день заборонене його використання в якості матеріалу для антикорозійного покриття, компонента барвників і хімічних стабілізаторів, хоча в інших державах він ще знаходить деяке застосування для цих цілей. Крім того, кадмій входить до складу деталей електронної апаратури (зокрема, напівпровідників), а також керуючих стрижнів ядерних реакторів. Великим джерелом дифузного забруднення навколишнього середовища даним важким металом можуть бути добрива, що отримують з фосфоровмісних руд. Наприклад, присутність домішок Cd в ґрунтах, що використовуються для землеробства в Австралії, в значній мірі пояснюється застосуванням фосфатних добрив. За останні десять років австралійським виробникам добрив вдалося значно знизити його вміст в своїй продукції, в якості місцевої сировини для якої зараз використовуються фосфорити з більш низькою концентрацією Cd. У США Агентством з охорони навколишнього середовища встановлено гранично допустиму норму концентрації кадмію в цинкових мікродобривах, що виготовляються з рециркульованих відходів, які містять цинк,

ГДК становить 1,4 мг/кг (частин на мільйон) Cd на кожну одиницю (1%) концентрації цинку [156, 215, 217, 234].

Крім того, кадмій виступає побічним продуктом виплавки цинку і може в деяких кількостях бути рекуперованим з колошникового пилу, що утворюється при переплавці виробів з оцинкованої сталі в електродугових печах. Даний мікроелемент може також регенеруватися з осаду, що утримується очисними системами гальванічних цехів. Такий осад утворюється при очищенні технічних стічних вод [103, 157].

Крім фосфорних добрив, дорожнього пилу та спаленого палива, є ще два шляхи антропо-техногенного надходження кадмію до навколишнього середовища. Перший – кольорова металургія: при всіх можливих зусиллях, що спрямовані на очищення викидів, деяка його кількість неминуче потрапляє до атмосферного повітря, оскільки не існує фільтрів, які б повністю забезпечували таке очищення. Другий – звалища та місця переробки сміття, наприклад, коли там горить пластик [192]. Однак на звалищі навіть без нагріву кадмій вилуговується та з водою потрапляє до ґрунту. Загалом, кольорова металургія привносить 5 тисяч тон викидів кадмію на рік, спалювання сміття – 1,5 тони, а виробництво фосфорних добрив і спалювання деревини – по 0,2 тисячі тон і більше, ніж 7,0 тисяч тон, які людина розсіює в навколишнє середовище. Власні можливості природи набагато менші: 0,52 тисячі тон надходить з вулканічним пилом при виверженні та 0,2 тисячі тон – виділення рослин. Інакше кажучи, перетворити в метал (а світовий випуск вже котре десятиліття коливається в межах 17–20 тисяч тон на рік) вдається не більше двох третин кадмію, що вивільнили із земних надр, цей факт відкриває майбутнім науковцям широкий шлях до перспектив його утилізації [126, 129, 139, 244, 256].

Наведені вище відомості про властивості і особливості хімічного елементу кадмію свідчать про необхідність ретельного вивчення вмісту і його поширення в просторі і в часі у біогеоценозах біосфери.

Шляхи надходження кадмію в організм людини. Природними джерелами надходження кадмію в організм є їжа (90–95%), вода (5–10%) і повітря (приблизно 1%). За даними USEPA, Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) та

Міністерства охорони здоров'я Канади [168] сумарне добове надходження кадмію в організм людини з усіх джерел становить 10–50 мкг. З їжею надходить – в середньому від 10 до 30–40 мкг кадмію на добу [268, 277, 279].

Кадмій здатний накопичуватися в рослинах (за даними досліджень, в грибах міститься найбільша його кількість) і живих організмах (найбільше – у водних) й по харчовому ланцюгу може надходити до організму людини. За деякими відомостями, вміст кадмію в грибах може досягати одиниць, десятків і навіть сотень і більше мг/кг власної ваги. Вживання таких грибів може бути небезпечним для життя. Овочі, фрукти, м'ясо тварин, риба містять зазвичай 10–20 мкг кадмію на кілограм ваги. Серед харчових продуктів значним джерелом кадмію виявляється соєвий сир тофу – одна його порція на тиждень збільшує вміст кадмію в організмі на 22% [204, 210]. Злакові культури, що виростили на забрудненому кадмієм ґрунті можуть містити підвищену його кількість (більше 25 мкг/кг). Підвищені концентрації кадмію можуть міститися в печінці (10–100 мкг/кг) і особливо в нирках (100–1000 мкг/кг) тварин, а також в різних молюсках і ракоподібних, які харчуються планктоном, наприклад, в устрицях (200–1000 мкг/кг) [211, 230]. Новозеландські біологи встановили, що концентрація кадмію в морській воді складає 0,11 мкг/л. Кадмій міститься у фосфорних добривах (трофічний шлях надходження до їстівних рослин), в процесі кругообігу води у природі, дощі змивають добрива до річок, потім до моря. Так відбувається шлях надходження кадмію до морської води, він вивільняється і потрапляє до фітопланктону, а з ним і до устриць. В результаті моллюски, які вирощуються вище в гирлах річок де кадмій ще не змився по ґрунтовому профілю, відносно чисті, а ті, що нижче, містять особливо багато цього металу [205 166, 218, 235]. Вміст кадмію в устрицях – 13–26 мкг/г сухої маси. Для порівняння: в насінинях соняшника, які також вважаються важливим джерелом надходження кадмію до організму людини, – 0,2–2,5 мкг/г, в листках тютюну – 0,5–1,0 мкг/г сухої маси. Оскільки планктоном харчуються не тільки устриці, кадмій потрапляє до риби та інших морепродуктів, які були виловлені в подібних забруднених водах. При добовому споживанні людиною води, надходження кадмію

до організму, як правило, не перевищує 2–5 мкг, хоча і може в окремих випадках досягати 20 мкг.[8, 31, 32, 223, 225].

Багато кадмію у тютюновому димі [42]. Істотну дозу додаткового кадмію отримують курці. Одна сигарета містить 1 мкг (а іноді – до 2 мкг) кадмію. Необхідно також відзначити, що через легені Cd легше засвоюється організмом – до 10–20 %, тоді як при надходженні через шлунково-кишковий тракт, відсоток засвоюваності складає лише 4–7 %. Таким чином, курець як мінімум в 1,5–2 рази збільшує своє кадмієве «навантаження», що несе у собі несприятливі для здоров'я наслідки [2, 28, 222]. Дослідження, проведені вченими з Сіетлу показали, що у молодих жінок, які мешкають в незабруднених кадмієм місцях, паління – головне джерело надходження Cd, воно збільшує вміст цього металу в організмі в півтора рази [235, 244].

Надходження кадмію в організм при диханні людини, що проживає в незабруднених районах, не перевищує 0,1–0,8 мкг/добу, а для мешканців околиць підприємств – до 2–10 мкг/добу [95]. Ці дані узгоджуються з аналогічними дослідженнями закордонних вчених: повітря, особливо міське, є небезпечним джерелом надходження кадмію до людського організму. В міському повітрі особливо багато дорожнього пилу, який утворюється при зношенні шин та гальмівних колодок (кадмій входить до їх складу). Так, у міських дорожніх працівників вміст Cd в організмі в півтора рази вищий ніж у їх колег із сільської місцевості, за даними видання [115] присутній кадмій і в викидах теплових станцій, які працюють на вугільному паливі та у викидах від спалювання деревини [188].

Потенційна небезпека кадмію для здоров'я людини. Кадмій – один з найбільш токсичних важких металів згідно розподілу хімічних елементів за класами небезпеки (ГОСТ 17.4.1.02 – 83), він віднесений до I класу небезпеки. Деякі джерела [39] називають Cd «найбільш небезпечним екотоксикантом на рубежі тисячоліть».

З огляду на причини зв'язку між діяльністю людини та рівнем дії на неї екотоксикантів, що містяться у навколишньому середовищі, найбільшу сучасну наукову зацікавленість саме для наших досліджень представляє такий аспект – людська діяльність змінює навколишнє середовище, продукує та виділяє в неї

поллютанти, і, як наслідок, всі зміни в навколишньому середовищі або біоті можуть діяти прямо або опосередковано на фізичне, економічне або естетичне благополуччя людини [62, 154, 187, 257, 258].

Як і багато інших важких металів [267], кадмій має чітку тенденцію до накопичення в організмі людини – період його напіввиведення становить 10–35 років. Відомо, що кадмій міститься в організмі людини у зв'язаному стані в поєднанні з білком – металлотіонеїном, що є природним захистом організму. У такому вигляді Cd менш токсичний, однак не є безпечним. Навіть «зв'язаний» кадмій, що накопичується протягом тривалого періоду в організмі людини, може сприяти виникненню проблем зі здоров'ям, як то: порушення роботи нирок, підвищеної ймовірності утворення ниркових каменів. До того ж, частина даного елемента залишається в більш токсичній іонній формі [2, 28, 31]. Доведено, що Cd за своїми хімічними властивостями дуже схожий із Zn і може заміщувати у біохімічних реакціях. Також він є антагоністом Ca і Fe і здатний замінити ці елементи, наприклад, Ca в кістковій тканині. Тому нестача в організмі цинку, заліза і кальцію може привести до підвищення засвоюваності кадмію зі шлунково-кишкового тракту (до 15-20 %) [138, 275].

Обмін Cd в організмі характеризується наступними основними особливостями [127, 151]: відсутністю ефективного механізму гомеостатичного контролю; тривалою кумуляцією в організмі з дуже тривалим періодом напіввиведення (в середньому 25 років); інтенсивно взаємодіє з металами (валентність II) як у процесі поглинання, так і на тканинному рівнях [253, 254].

Класичним прикладом хронічного отруєння кадмієм є захворювання, яке вперше було зафіксоване в Японії в 40-ті роки XX століття в префектурі Тояма та отримало назву «ітай-ітай», де фермери використовували воду з цинкової шахти для зрошення рисових полів. Це захворювання набуло масового характеру через харчування японців – переважно рисом. [210, 214]. Хвороба «ітай-ітай» супроводжувалась сильним больовим синдромом в попереку, міальгією, остеомалією (розм'якшення кісток), що стало проявлятися хрупкістю та ламкістю кісток і деформацією скелету. Найвні були характерні ознаки ураження нирок, що

мали незворотній напрямок. Були зафіксовані сотні смертельних випадків внаслідок ураження цієї хворобою [171, 209].

Кадмій викликає симптоми старіння організму людини. Двократне підвищення цього мікроелементу в сечі знижує вміст кальцію на 2 мг/добу. Відомо, що втрата кальцію підвищує ризик остеопорозу. Дійсно, у групі жінок старших 50 років із вмістом Cd у сечі більше 1 мкг/г, ризик остеопорозу вищий на 43%, ніж у тих, у кого було менше 0,5 мкг/г. При вмісті кадмію 1 та 2 мкг/г ризик підвищеного вмісту глюкози та розвитку діабету другого типу – 1,24 та 1,48 відповідно порівняно з тими, у кого його менше 1 мкг/г. Обстеження корейців, чверть яких страждала від високого тиску, показало що ризик цього нездужання у людей з високим вмістом кадмію в організмі в півтора рази вище, ніж з низьким. Ризик інфаркту у жінок із вмістом більше 0,88 мкг/г Cd у сечі в 1,8 рази вище у порівнянні з тими, у кого менше 0,43 мкг/г. Проаналізовані факти дають підставу стверджувати, що саме забруднення навколишнього середовища кадмієм спричинило те, що люди протягом ХХ століття, почали хворіти на вікові хвороби у значно ранньому віці [186].

Відомо, що гостре харчове отруєння Cd відбувається при надходженні великих разових доз з продуктами харчування (12–35) або з водою (10–18) мг. При цьому відмічаються ознаки гострого гастроентериту: нудота з проявами блювоти, болі та судоми в епігастральній ділянці. Летальна разова доза для цього елемента не визначена, але за оцінками ВООЗ може становити 350–3500 мг. Набагато небезпечніше отруєння кадмієм при вдиханні його парів або кадміймісткого пилу (як правило, на виробництвах, що пов'язані з його використанням). Симптомами такого отруєння є головний біль, озноб, слабкість, нудота з проявами блювоти, діарея та набряк легенів. Результатом подібних отруєнь можуть статися летальні випадки. Кадмій не входить до числа життєво необхідних елементів, тому в організмі немає ніяких спеціальних механізмів для його засвоєння – він користується тими, що передбачені для схожих з ним важких металів, які утворюють двовалентні іони: цинк, феррум, манган. Нестача будь-якого з цих елементів відразу ж приводить до підвищеного засвоєння кадмію. Так, нестача ферруму збільшує вміст Cd у тайських жінок у три-чотири рази. Аналогічні дані

виявили при вивченні стану організму жінок Бангладеш, при цьому елементом заміщення виступив цинк. Інші дослідження вчених Бразилії показали, що кофеїн суттєво, більше ніж вдвічі, знижує вміст кадмію в крові, в тканинах, в тому числі статевих, у піддослідних пацюків [155, 169, 183, 221].

Експертами спільної комісії Продовольчої і сільськогосподарської організації ООН і ВООЗ встановлено показник тимчасового допустимого тижневого споживання для кадмію на рівні 7 мкг/кг маси тіла людини (тобто в середньому 1 мкг/добу на 1 кг власної ваги) [184, 185, 168]. Дані про канцерогенність Cd обмежені. У проведених дослідженнях із лабораторними тваринами не відбувалась фіксація зростання кількості пухлин при вживанні даного важкого металу. Така тенденція спостерігалася тільки при вдиханні частинок пилу, що містять неорганічні сполуки кадмію. Міжнародним агентством з вивчення раку (МАВР) кадмій був віднесений до Групи 2А – «агенти, ймовірно є канцерогенними для людини» за даними Міжнародного агентства з дослідження раку. Відомо, що при досягненні певної концентрації кадмій здатний викликати важкі дисфункції організму. Якщо раніше медики виходили з того, що безпечним є надходження до організму 7 мкг Cd на тиждень на 1 кг живої маси, то зараз цей показник знижено до 2,5 мкг [76].

Відомо, що показники вмісту кадмію тільки в природних системах широко варіюють. Наявні відомості про забруднення середовища цим мікроелементом [64], про його поширення в природних системах [252].

Сучасний стан регіональної вивченості вмісту та розподілу Cd в ґрунтах. Інтенсивний розвиток світової промисловості та глобальне техногенне забруднення довкілля токсичними важкими металами, зумовлює гостру необхідність вивчення вмісту цих металів та їх поведінки у ґрунтовому покриві. Це вивчення потребує обов'язкового врахування особливостей їх техногенного походження у ґрунтовому профілі, тому вимагає кращої поінформованості та поліпшення знань у людей, що приймають рішення у сфері охорони довкілля, зокрема виконавчих органів м.Кам'янське. Для цього необхідно посилити роль науки та різноманітних інноваційних досліджень для створення бази знань щодо охорони урбанізованих

територій. У 2002 році напередодні Всесвітньої зустрічі зі сталого розвитку у столиці ПАР – Йоганнесбурзі, Україна представила національну доповідь, у якій було ініційовано скорочення промислового забруднення компонентів навколишнього середовища

У огляді результатів екологічної діяльності (ОРЕД) України зазначено, що на засіданні п'ятої Конференції міністрів за робочою назвою – «Навколишнє середовище для Європи» було підтверджено виконання програми ОРЕД Комітетом з екологічної політики ООН, що забезпечило можливість оцінювати ефективність зусиль країн з перехідною економікою в справі раціонального використання навколишнього середовища. Програма передбачає надання відповідним урядам індивідуальних рекомендацій по вдосконаленню раціонального використання навколишнього середовища з метою зменшення навантаження забруднення, кращої інтеграції екологічної політики в секторальну політику й укріплення співробітництва з міжнародним співтовариством [152,153].

Одним з найважливіших компонентів біогеоценозу (урбосистеми) є ґрунти, які поглинають більшу частину забруднювачів з аеральних потоків. При цьому ґрунт не тільки зв'язує забруднюючі речовини, але й виступає як природний буфер, що контролює переміщення хімічних елементів та їх сполук до атмосфери, гідросфери, живих організмів [2].

При тривалому надходженні важких металів у ґрунті може накопичитися їх значна кількість, що може співпадати з вмістом металів у природних геохімічних аномаліях. Але істотна різниця між вмістом та розповсюдженням важких металів у ґрунтах техногенно забруднених територій та ґрунтах геохімічних аномалій в тому, що в першому випадку вони концентруються в верхньому шарі ґрунту, тоді як у другому – на фоні невеликого накопичення в гумусовому шарі, спостерігається збільшення концентрації важких металів з глибиною ґрунтового профілю [1, 2, 58].

В Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара комплексні моніторингові дослідження екосистем проводяться регулярно з часів створення професором О. Л. Бельгардом в 1948 році [12]. Комплексної експедиції з дослідження лісів степової зони України. Не зважаючи на існування значного

об'єму наявної інформації про стан та особливості функціонування степових лісів, залишається невирішеним питання про вміст в їх компонентах окремих хімічних елементів, зокрема кадмію.

Особливості розповсюдження та рівень вмісту важких металів у ґрунтах Дніпропетровської області висвітлені в ряді робіт. Н. М. Цветковою [132, 133, 135, 137] та А. О. Дубиною [53, 134] було досліджено вміст важких металів у лісовій підстилці (верхньому ґрунтовому горизонті) лісових екосистем Присамар'я, залежність вмісту важких металів від типу деревостану та лісорослинних умов. Науковцями досліджувались фонові рівні вмісту валових і рухомих форм важких металів *Pb, Ti, Mn, Cr, Ni, V, Cu, Mo*, їх радіальний та латеральний розподіл, біогенна акумуляція та елювіально-іллювіальна диференціація у профілі ґрунтів, кореляційний зв'язок вмісту важких металів з фізико-хімічними властивостями ґрунтів, інтенсивність біологічного кругообігу металів, розподіл металів у органах рослин. Роботи М. С. Якуби [132, 148] присвячені змінам, що відбулися у вмісті та розподілі важких металів ґрунтового профілю лісових біогеоценозів Присамарського міжнародного біосферного стаціонару імені О. Л. Бельгарда (Дніпропетровська область, Новомосковський район, с. Андріївка). А. М. Кабар [130] у 2005 році на прикладі території ботанічного саду ДНУ показав вміст, характер міграції та акумуляції *Pb, Ni, Cr, Cd, Mn, Fe, Cu* в ґрунтах і рослинах.

Забруднення важкими металами урбанізованих територій Дніпропетровської агломерації досліджували С. М. Сердюк та Г. В. Пасічний [95, 113], вони розглянули геоecологічну ситуацію міста, визначили вміст важких металів у ґрунтовому покриві основних промислових підприємств м. Дніпра.

Н. М. Цветкова, Т. К. Клименко [135, 136, 69–71] у своїх роботах представили результати дослідження вмісту валових та рухомих форм важких металів, у тому числі кадмію, в корененасиченому шарі ґрунтів рекреаційної, селітебної та промислової зон міста, розглянули проблему забруднення ґрунтового покриву (0–10 см) міста Кам'янське, проаналізували уміст важких металів у рослинах видів *Taraxacum officinale* Wigg. і *Poa angustifolia* L. в якості рослин рослин-моніторів в пасивному моніторингу забруднення міських ґрунтів.

Так, у літературних джерелах існує певна кількість даних про вміст кадмію у різних типах ґрунтів м. Кам'янське, але ці дані є дещо фрагментарними. Дотепер немає повної інформаційної характеристики геохімічної поведінки цього хімічного елементу у ґрунтовому покриві та даних щодо впливу ґрунтових властивостей на концентрацію Cd в конкретних ґрунтах урбанізованих територій – природних і антропогенного походження. Актуальність представлених нами досліджень обумовлена, насамперед, необхідністю зниження загрозливих екологічних наслідків забруднення ґрунтів кадмієм та оптимізації умов життя населення м. Кам'янське. Оцінка техногенної дії на ґрунтовий покрив міста актуальна в плані моніторингу, що відповідає сучасним задачам слідкування за станом навколишнього середовища.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

- Цветкова, Н. Н., Гунько, 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).
- Гунько, С. О. (2010). Сучасний стан вивченості кадмію в едафотобах урбанізованих територій Степового Придніпров'я. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі земель*, 39, 125–129.
- Гунько, С. О. (2011). Кадмій у ґрунтах м. Дніпродзержинськ. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Медицина*, 2 (1), 24–30.
- Гунько, 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».

РОЗДІЛ 2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Географічне розташування та кліматичні особливості

Дніпропетровської області

Дніпропетровська область розташована на території південного сходу України, в басейні середньої та нижньої течій р. Дніпро. Область межує: на сході – з Донецькою, на заході – з Миколаївською та Кіровоградською, на півночі – з Полтавською та Харківською та на півдні – із Запорізькою і Херсонською областями України.

Територія області складає 31,90 тис. км², що становить 5,3 % території країни. Адміністративним центром області є місто Дніпро, яке розташоване по Лівобережжю та Правобережжю річок Дніпро та Самара.

За адміністративно-територіальним відношенням, область поділено на 22 адміністративні райони й 13 міст обласного і 7 – районного підпорядкування, в тому числі 45 селищ міського типу, 65 міських і 1436 сільських населених пунктів.

Чисельність населення області складає 3176,6 тис. осіб. Кількість населення у місті Дніпро – 1002,944 тис. чоловік. Рівень урбанізації області високий: чисельність міського населення області – 2668,344 тис. осіб (у 65 міських поселеннях мешкає 84 % жителів), сільського – 508,256 тис. чоловік (16 %).

Згідно фізико-географічного розташування, Дніпропетровщина знаходиться у степовій та лісостеповій (3,9 % території області – ліси) зонах України. За своєю структурою ландшафти переважно рівнинні. На заході області розташована Придніпровська височина (висота до 209 м). Південно-східна частина області складається з відрогів Приазовської височини (до 211 м). Придніпровською низиною зайнята Центральна частина області, яка переходить у Причорноморську на півдні. Дніпропетровщину з північного заходу на південний схід перетинає ріка Дніпро, яка є головною водною артерією країни. До її басейну належать такі притоки : Самара , Оріль, Вовча, Мокра Сура, Саксагань, Інгулець, Базавлук та інші. В області налічується майже 1,5 тис. водойм та ставків, площа яких складає понад 26 тис. гектарів. Каховське водосховище на півдні омиває водами територію області.

Дніпропетровська область відмічена помірно-континентальним кліматом. В цілому він характеризується порівняно спекотним літом і прохолодною зимою. Середньорічна температура знаходиться в межах $+7 - +9$ °С. Температура найхолоднішого місяця (січень) складає $-5 - -7$ °С, найтеплішого (липень) $+22 - +23$ °С. Середньорічна кількість опадів знаходиться в діапазоні від 400 до 490 мм. Середня річна кількість сонячних днів – 240.

Дніпропетровська область за різноманітністю та запасами природних ресурсів є унікальною в Україні. Вона володіє майже 50 % запасів всіх загальнодержавних корисних копалин. Майже на всій території Дніпропетровщини переважають родючі чорноземні ґрунти. Інтенсивне сільське господарство дозволяє вести розгалужена система водопостачання. Дніпропетровська область забезпечена мінеральними ресурсами більш ніж втричі, якщо порівнювати її із загальнодержавним рівнем. [6, 9, 12, 40, 41, 94].

2.2. Фізико-географічна характеристика м. Кам'янське

Кам'янське (у 1936–2016 роках – Дніпродзержинськ) – місто у Дніпропетровській області, що знаходиться на Правобережжі та Лівобережжі середньої течії р. Дніпро. Віддаленість від обласного центру складає 35 км. Межі міста становлять: із заходу на схід – 22 км, з півдня на північ – 18 км.

Місто є другим за величиною та значенням центром обласної Дніпровської агломерації. У складі міста 3 адміністративні райони: Південний, Заводський та Дніпровський.

Кам'янське – великий індустріальний центр обласного підпорядкування.

У державному територіальному розподілі місто виділене, як центр чорної металургії, хімічної промисловості і є одним з найбільших промислових вузлів України. Кам'янське має у своєму складі підприємства металургійної, хімічної, машинобудівної промисловості. Об'єм валової продукції промисловості розподіляється по районах таким чином: 51 % – Заводський, 43 % – Південний, 6 % – Дніпровський [116].

Площа міста складає близько 15011 га. Кам'янське розділене річкою Дніпро на дві частини (правобережну та лівобережну) та простягається на 20 км по правому берегу і на 9 км – по лівому берегу. Житлові райони складають 41 % міської території, промислові та комунальні підприємства – 18 %. [118].

Більша частина селітебної забудови правобережної частини міста з трьох боків оточена промисловими підприємствами, які мають санітарно-захисні зони, що не завжди відповідають вимогам природоохоронних нормативів [116].

Окрім промисловості та житлового фонду місто характеризується різноманітністю комунального господарства, серед якого мережі водогону (близько 800 км), каналізації (близько 300 км), в тому числі зливної. Основні види транспорту – трамваї й автобуси, а також мікроавтобуси. Протяжність трамвайних ліній – близько 34 км, автобусних маршрутів – 104 км.

Природні біотичні фактори представлені ґрунтами, що залягають у даній місцевості (лесові супіски та суглинки, міцність яких коливається від декількох десятків сантиметрів до десятків метрів), підземними водоносними горизонтами, в тому числі верховодкою, виникнення якої характерне для підтоплених територій міста, а також специфічним рельєфом місцевості з ухилом до природної (р. Дніпро) й антропогенної (меліоративна система та р. Коноплянка) водоносної мережі та місцевих балок і ярів (Самишина балка, Водяна балка, Баранникова, Вовче Гирло). Біотичними факторами, що характеризують м. Кам'янське, як своєрідну ландшафтну одиницю, є рослинність, тваринний світ та безпосередньо населення міста, кількість якого складає 231,9 тис. чоловік (станом на 2020 р.).

Рослинність міської екосистеми складається з дерев, чагарників, газонних трав, декоративних і рудеральних (тобто виникаючих стихійно на смітниках) рослин.

У деревостанах промислових районів міста переважають особливо пило-, газостійкі породи з бактерицидними властивостями, а саме: тополя срібляста, акація біла, клен сріблястий, липа дрібнолиста та ін. Норма площі озеленення міст, встановлена ВООЗ, дорівнює 50 м² міських зелених насаджень на одного мешканця, табл. 2.1. Площа зелених насаджень загального використання у промисловому місті

Кам'янське – 215 га, або 8 м² на кожного мешканця, що є недостатньою згідно нормативів, тобто у шість разів менша за норму, так, зелені насадження в місті не виконують в необхідному ступеню свої в функції.

Таблиця 2.1

Функції зелених насаджень у міському середовищі

Функції зелених насаджень	Їх реалізація
Екологічні	Здатність очищувати повітря в містах від пилового, шумового забруднення, забезпечувати киснем і поглинати вуглекислий газ, насичують повітря фітонцидами
	Зменшують зливові стоки і навантаження на міські каналізаційні мережі
	Покращення міського мікроклімату: баланс температури і вологості повітря
	Сприяють комфортному існуванню тварин і рослин, тим самим зберігають біорозмаїття
	Забезпечують можливість переробки мертвої органічної речовини і формування міських ґрунтів
Соціальні	Забезпечують місця для відпочинку городян
	Дають можливість для занять спортом і покращують здоров'я городян
	Забезпечують умови для спілкування людей різних поколінь
	Представляють значний науковий інтерес, навчальний ресурс. Створюють почуття зв'язку з природою в місті
Історико-культурні	Створюють почуття культурної приналежності до минулого, почуття індивідуальності даного місця
Економічні	Збільшують вартість нерухомості, розташованої поряд, як комерційної, так і житлової
	Сприяють притоку інвестицій і зменшенню безробіття
	Сприяють створенню позитивного образу міста
	Вносять вклад у формування туристичної привабливості міста
Містобудівельні	Формують архітектурно-планувальну структуру міста та основних елементів забудови
	Елемент інженерної інфраструктури міста
	Забезпечують зелені розриви в міському просторі, заповнюють санітарно-захисні смуги

Фауна міських екосистем представлена порівняно невеликим числом видів тварин. Зокрема, ссавці представлені, головним чином, собаками, кішками, мишами, пацюками; холоднокровні – жабами, ящірками й іншими. Серед птахів переважають горобці, голуби, ластівки, стрижі, а також зустрічаються дятли, дрозди, велика синиця, шпаки та інші.

На території міста зустрічається значна кількість різних видів комах: метеликів, жуків, комарів, кліщів і павуків.

Саме біотичні та абіотичні компоненти промислових міст є своєрідними індикаторами забруднення довкілля, тому вони представляють найбільший інтерес для ландшафтно-екологічного дослідження стану м. Кам'янське загалом, причому едафотопи є найбільш показовими й інформативними показниками стану урбанізованих територій [96].

Кліматична характеристика міста. Клімат м. Кам'янське характеризується порівняно спекотним літом і прохолодною зимою. Середньомісячна температура найтеплішого місяця липня $+ 22,6^{\circ}\text{C}$; середньомісячна температура найхолоднішого місяця січня $- 5^{\circ}\text{C}$. Середньорічна кількість опадів по області становить 400–480 мм. Сніжний покрив не стійкий. Влітку переважають південно-західні вітри [81, 144]. Середньорічна роза вітрів м. Кам'янське є необхідною інформацією для визначення міграції Cd (рис. 2.1).

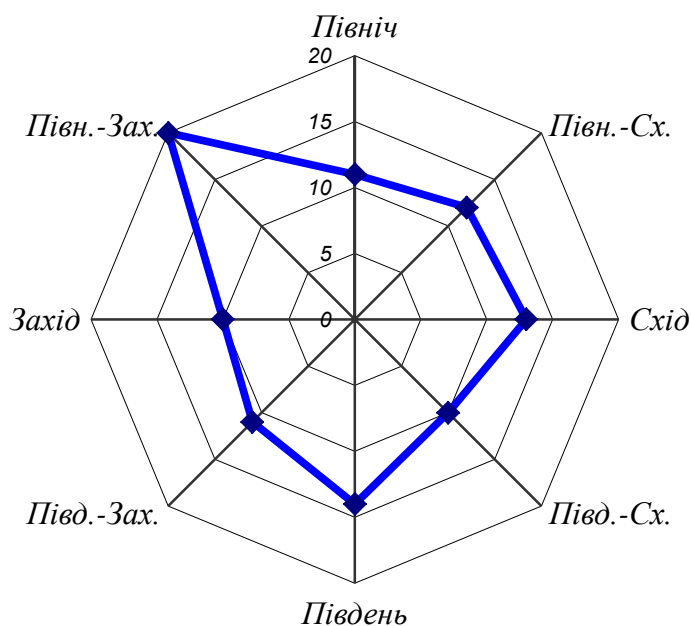


Рис. 2.1. Середньорічна роза вітрів м. Кам'янське

Геологічна будова і рельєф. Кам'янське розташоване на стику Українського кристалічного щиту і Дніпровсько-Донецької западини, що пояснює рельєф міста.

Лівобережна частина міста позиціонується на Придніпровській низовині, альтитуда не перевищує 71 метру. Правобережна частина знаходиться на відрогах Придніпровської височини, альтитуда лежить в межах 58–178 м.

У геологічній будові ґрунтового профілю беруть участь різноманітні за віком, генезисом, літологічним складом і фізико-механічними властивостями породи. Найбільш давніми є докембрійські кристалічні породи, які представлені гранітами, гнейсами, гранітогнейсами та мігматитами. Кристалічні породи перекриті товщею більш молодших третинних і четвертинних відкладень. Третинні осадові утворення: піщані утворення, які містять прошарки бурого вугілля, спондилові глини, глинисті мергелі, глауконітові піски з прошарками глин та піщаників. Поверхня майже суцільно, за винятком виходів кристалічних порід, покрита четвертинними відкладеннями. Вони представлені алювіальними утвореннями р. Дніпро (піски, мулисті глини, торф'янисті утворення, відкладення заплавної озера), делювіальними покривними суглинками лесовидної структури, силовим делювієм і яружно-балковим алювієм [5, 140].

Геоморфологія міста визначається певними особливостями. Територія належить до підвищеного корінного плато та його схилів, до яких примикає смуга більш давніх терас. Західна частина міста характеризується більш крутим рельєфом. Мінімальна висотна позначка – 51 м, максимальна – 180 м, таким чином, амплітуда коливання висот – 130 м.

На території міста виділяються такі геоморфологічні елементи. Корінний берег – плато (80–180 м), покритий суглинками лесовидної структури. Третя надзаплавна тераса (62–80 м), ширина якої коливається від 250 до 1700 м; вона складена лесовидними суглинками. Корінний берег і третя тераса в районі міста порізані яружно-балковою мережею. Великі балки мають постійний водостік, на схилах спостерігаються зсувні явища. Друга надзаплавна тераса (56–62 м), ширина якої 600–800 м, складається делювіальними суглинками і глинами, інколи глинистими пісками. Заплава (54–56 м) складена дрібнозернистими пісками [71].

У правобережній частині міста зональним типом ґрунтів є чорноземи звичайні малогумусні, в лівобережній – дернові піщані і глинисто-піщані в комплексі із

піщаними чорноземами та слабогумусними пісками, а в плавнях річки наявні лучні ґрунти Придніпровської височини [116].

Основні промислові підприємства міста та обсяги виробництва та викидів. Місто Кам'янське, як і інші індустріальні міста, є вкрай нестійкою, але єдиною системою, що створена з природних, штучних та техногенних складових. Ця система в наш час втратила здатність до самовідновлення, не здатна протистояти дії негативних екологічних факторів середовища, включаючи антропогенні впливи, які мають місце повсякчасно [138]. За даними матеріалів «Стратегії розвитку міста Кам'янське» [116], промисловий комплекс міста налічує 43 великі і середні підприємства, на яких працює близько 28 тис. осіб, що становить більш ніж 11 % міського населення (рис. 2.2).

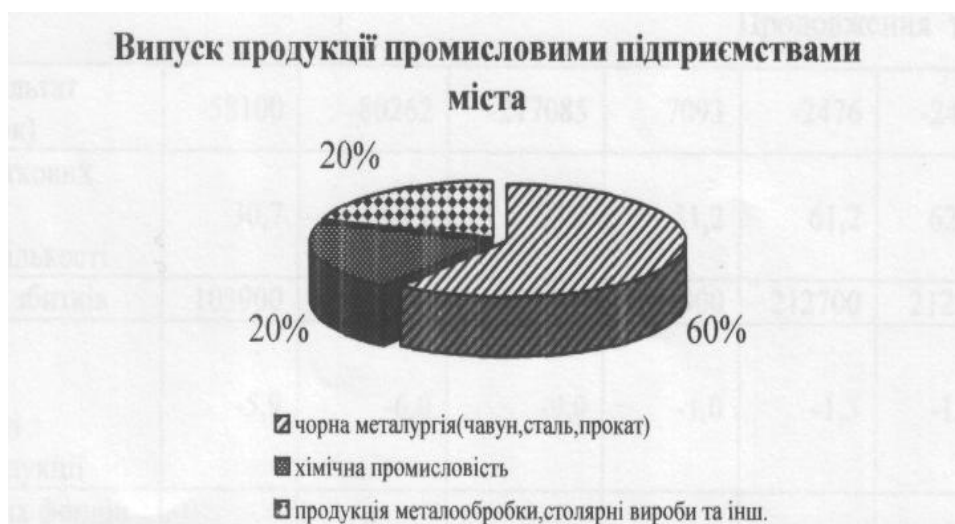


Рис. 2.2. Основна номенклатура галузевої продукції, яку випускають промислові підприємства міста [116]

Більш докладну схему структур виробництва м. Кам'янське представлено на рис.2.3.

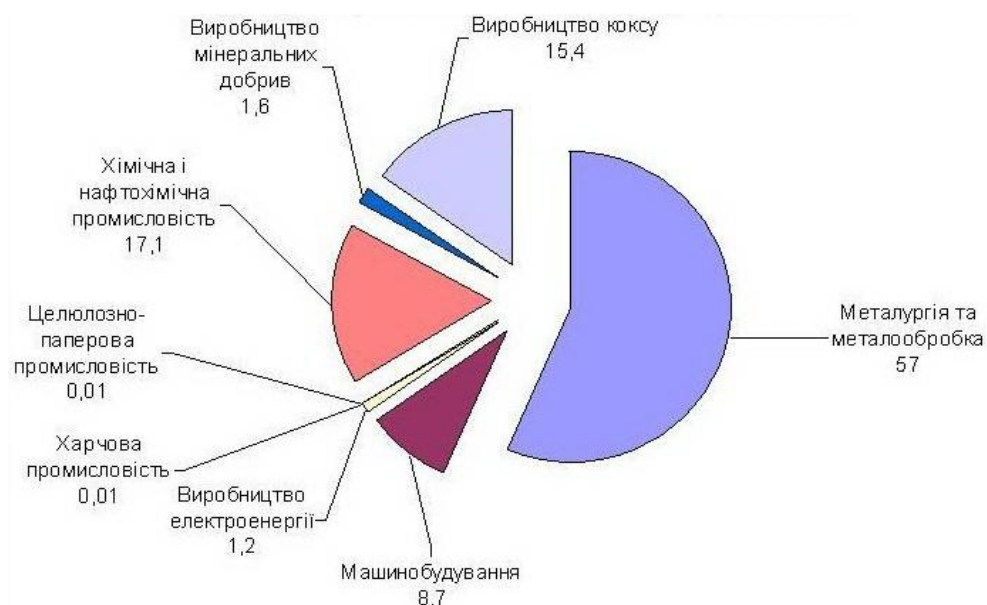


Рис.2.3. – Структура виробництва м. Кам'янське, за даними [116]

Кам'янське відноситься до промислових міст України з загрозливою екологічною ситуацією [145], що сформувалася в результаті тривалого та інтенсивного розвитку металургійної, хімічної, уранопереробної та машинобудівної галузей промисловості, не враховуючи екологічних наслідків та небезпеки для навколишнього середовища і здоров'я міських жителів.

Основне навантаження створюють екологічно-небезпечні об'єкти – промислові підприємства міста, які є основними джерелами забруднення навколишнього природного середовища, в тому числі кадмієм. В першу чергу це металургійне виробництво ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (річні обсяги викидів забруднюючих речовин представлено на рис. 2.4) та викиди сталеливарного виробництва дочірнього підприємства ПАТ «Дніпровагонмаш» ДП «Стальзавод» (рис. 2.5). Викиди інших основних підприємств-забруднювачів міста (ПАТ «ХайдельбергЦемент Україна», ПАТ «Дніпровський завод мінеральних добрив», ПАТ «Дніпровська ТЕЦ», ДП «Смоли»), (рис. 2.6).



Рис. 2.4. Річні обсяги викидів забруднюючих речовин від ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» за 2011-2014рр. за даними форми № 2-тп (повітря).

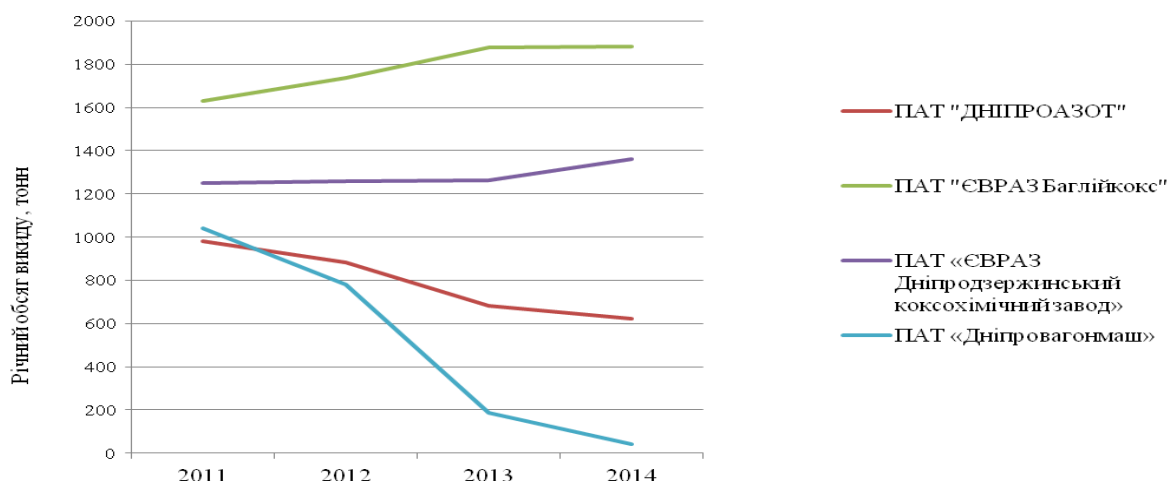


Рис. 2.5. – Річні обсяги викидів забруднюючих речовин від ПАТ «ДніпроАЗОТ», ПАТ «ЄВРАЗ Баглійкокс» – нині ПрАТ «ЄВРАЗ Південкокс», ПАТ «ЄВРАЗ Дніпродзержинський коксохімічний завод» – нині ПрАТ «ДКХЗ» та ПАТ «Дніпровагонмаш» – нині ПрАТ «Дніпровагонмаш» і ДП «Стальзавод» за 2011-2014 рр. за даними форми № 2-тп (повітря).

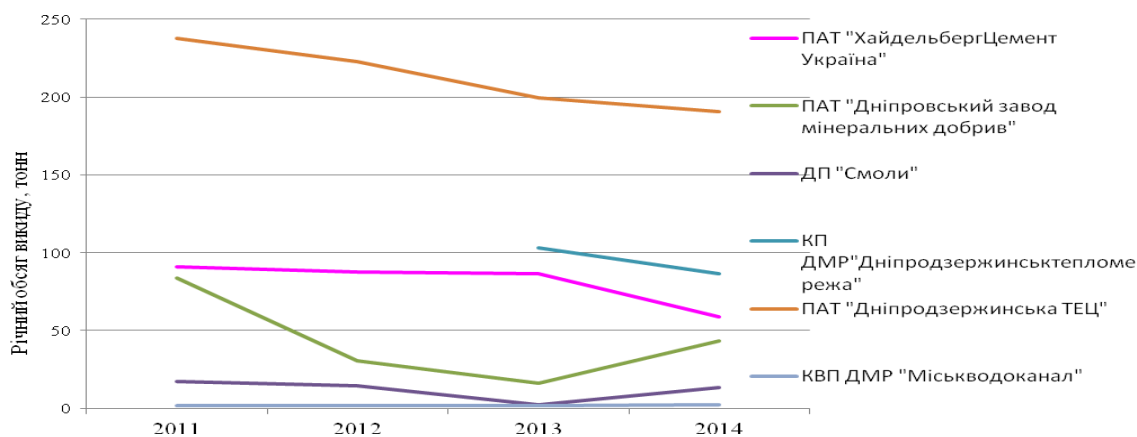


Рисунок 2.6. – Річні обсяги викидів забруднюючих речовин від ПАТ «ХайделбергЦемент Україна», ПАТ «Дніпровський завод мінеральних добрив», ПАТ «Дніпровська ТЕЦ», ДП «Смоли» та ін. за 2011-2014 рр. за даними форми № 2-тп (повітря).

Джерела забруднення навколишнього середовища міста за походженням можна розділити на дві групи. Першу групу представляють відходи виробництва, серед яких переважають відходи промислової та комунально-побутової діяльності. Другу групу джерел забруднення ґрунтів представляють засоби хімізації [170, 219, 239]. Режим їхнього надходження в навколишнє середовище може бути постійним, регулярним, спонтанним (мимовільним). За характером площинного поширення забруднюючих речовин джерела забруднення поділяються на точкові (теплоелектростанції), майданні (великі промислові зони), лінійні (транспорт) [206].

Коротка характеристика степових біогеоценозів Присамар'я як еталонної ділянки у вивченні стану міських екосистем Присамар'я Дніпровського. В якості еталонної ділянки, з метою порівняння результатів вмісту кадмію валової та рухомих форм, отриманих для промислового міста, було обрано пробну ділянку різнотравно-кострицево-ковилевого степу, як найбільш схожу за своїми екологічними властивостями із м. Кам'янське, але й, водночас, достатньо віддаленою (близько 120 км), щоб зазнавати схожого антропо-техногенного впливу. В адміністративному відношенні район дослідження розташований у південно-східній частині степової зони України (Дніпропетровська область). Чорнозем звичайний є зональним типом ґрунтів, як для м. Кам'янське, так і для обраної еталонної ділянки Присамар'я Дніпровського [13, 51, 10, 11, 148, 134].

Степові біогеоценози розташовані на вершині вододільного плато між р. Самарою та балкою Сороковушкою (Присамарський біосферний стаціонар, Дніпропетровська обл., Новомосковський р-н.) із слабким схилом на $1,5^\circ$ північно-східної експозиції. Ґрунт еталонної ділянки – чорнозем звичайний, карбонатний, малогумусний та середньо-суглинистий на лесовидних суглинках. Ґрунтові води – на глибині 40 м. Скіпання з 46 см. За гранулометричним складом ґрунт важко-суглинистий. Кількість гумусу у верхньому горизонті дорівнює 4,3 % і з глибиною зменшується. У верхніх горизонтах рН нейтральна, вглиб за профілем реакція переходить у лужну. Аналіз водної витяжки свідчить про відсутність засолення. Сухий залишок дорівнює 0,02–0,15 %. Водопостачання атмосферне [121, 128].

РОЗДІЛ 3. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Об'єкти дослідження

Міська система поліморфна, оскільки вона не може гармонізувати з природною або антропогенною підсистемами. Середовище життя людини в місті – природні (біосфера), і антропогенні (елементи інфраструктури) підсистеми. Місто – це розширена системна структура, тому занадто складним є конструктивне втручання в урбоценози задля їх оптимізації і реконструкції [115, 228].

Місто – надзвичайно залежна екосистема, яка повністю знаходиться у прямій залежності від навколишнього середовища.

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

Територія міста Кам'янське історично поділена на дві частини: правий та лівий берег р. Дніпро. Для більш повної характеристики вмісту кадмію в ґрунтовому покриві правобережна частина міста умовно розділена на підсистеми: східну, центральну та західну. Лівобережна частина не підлягала розділенню, оскільки її територія незначна порівняно зі всією площею м. Кам'янське. Застосовуючи системний підхід у дослідженнях, місто представлене як система, а промислова, рекреаційна та селитебна зони виступили підсистемами.

Для оцінки розповсюдження кадмію в ґрунтах у межах м. Кам'янське проведено ретельне ґрунтове обстеження, виділено 29 пробних ділянок урбанізованих територій (точки –т. – на картосхемі), закладених з півдня на північ, згідно рози вітрів і зміни висотних позначок міста, які являють собою 5 екологічних профілів едафотопів на території міста (рис. 3.1).

Кожен із закладених профілів має значну амплітуду перепаду висот, проте, всі з п'яти наближаються до стаціонарних джерел антропо-техногенного забруднення, якими виступають передусім промислові підприємства міста та транспортні магістралі. 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.



Рис. 3. 1. Картоschema екологічних профілів м. Кам'янське (цифра – точка відбору проб (т.) – пробна ділянка).

Коротка характеристика пробних ділянок м. Кам'янське та їх належність до виділених зон представлена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Характеристика досліджуваних екологічних профілів едафотопів м. Кам'янське

Урбанізовані території (пробні ділянки)	Місце відбору проб ґрунтів урбанізованих територій міста	Підсистема міста
Правобережна частина міста		
<i>Екологічний профіль едафотопів № 2</i>		
1	Залізничний вокзал (р-н житлової забудови)	промислова зона
2	Автовокзал (р-н житлової забудови)	промислова зона
3	Просп. Аношкіна	селитебна зона
4	Вул. Ковалевича	селитебна зона
5	Просп. Свободи (сквер, р-н ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»)	промислова зона
6	Центральний міський парк	рекреаційна зона
<i>Екологічний профіль едафотопів № 1</i>		
7	Просп. Ювілейний (південний схил балки Водяна)	промислова зона
8	Балка Водяна (тальвег)	рекреаційна зона
9	Просп. Аношкіна (р-н вул. Суворова)	селитебна зона
10	Просп. Аношкіна (р-н вул. Водяна)	селитебна зона
11	Вул. Колеусівська (р-н ПрАТ «ДКХЗ»)	промислова зона
<i>Екологічний профіль едафотопів № 3</i>		
12	Вул. М. Грушевського	селитебна зона
13	Балка Самишина (північний схил, вул. Цюлковського)	рекреаційна зона
14	Балка Самишина (північно-східний р-н, Військове кладовище)	рекреаційна зона
15	Вул. С. Слісаренка	селитебна зона
16	Просп. В. Стуса	селитебна зона
17	Вул. Каштанів (р-н вул. Гайдамацька)	селитебна зона
18	Вул. Набережна (р-н Піски)	рекреаційна зона
<i>Екологічний профіль едафотопів № 4</i>		
19	Балка Самишина (південно-західний схил, р-н вул. Заміська)	рекреаційна зона
20	Балка Самишина (тальвег, р-н вул. С. Разіна)	рекреаційна зона
21	Балка Самишина (північно-західний схил, р-н вул. Онищенко)	селитебна зона
22	Вул. Криворізька	промислова зона
23	Вул. Ф. Бульбенка	селитебна зона
24	Вул. Дніпробудівська	промислова зона
Лівобережна частина міста		
<i>Екологічний профіль едафотопів № 5</i>		
25	Просп. Перемоги (9 мкрн., р-н кінотеатру Мир)	селитебна зона
26	Вул. Харківська (1 мкрн., р-н парку «Лівобережний»)	селитебна зона
27	Просп. Металургів (2 мкрн., р-н парку «Лівобережний»)	селитебна зона
28	Б-р Героїв (3 мкрн.)	селитебна зона
29	Просп. Дружби Народів (5 мкрн., сухуватий бор)	рекреаційна зона

Місто – це надскладна поліструктурна система, яка водночас не перестає бути екологічною системою, оскільки, як і в природних умовах, її формують рослини, тварини, різні мікроорганізми з середовищем їхнього існування. Так, потоки речовини та енергії є головними системоутворюючими процесами [56].

Додатково для з'ясування закономірностей розподілу кадмію в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське нами було проведено дослідження особливостей біокругообігу речовин і важкого металу в дубово-кленово-білоакацієвих насадженнях правобережної та лівобережної частин міста. Об'єктами виступили підстилка та опад екосистем урбанізованих територій міста штучних дубово-кленово-білоакацієвих насаджень: місце розташування: в межах екологічного профілю едафотопів № 4 (точки 19, 20 рис.3.1) західна правобережна частина міста (територія Самишиної балки), в межах екологічного профілю едафотопів № 5 (точки 26, 27 рис.3.1) лівобережна частина міста (територія паркової зони).

3.2. Методи дослідження

При виконанні дисертаційної роботи був застосований біогеоценотичний підхід, виразом якого є теорія В. М. Сукачова про біогеоценози [12]. В ході проведення наукових досліджень нами були застосовані загальнонаукові та спеціальні методи: польовий (відбір ґрунтових зразків, опаду та підстилки), лабораторний (фізико-хімічний аналіз ґрунтів, визначення вмісту валових і рухомих форм кадмію та інших важких металів), математичний (статистична обробка отриманих результатів – проводилась наступна математична обробка отриманих даних, при $P > 0,05$), моделювання (за допомогою інструменту «Інтерполяція» додатку ArcGIS Spatial Analyst методом ординарного крігінга здійснено складання карт, які демонструють інтерпольовані результати вимірів валових та рухомих форм кадмію, у тому числі за межами закладених екологічних профілів).

Кожна пробна площа являла собою ґрунтовий розріз глибиною 150 см. Відбір ґрунтових зразків проводився через кожні 10 см за допомогою агрохімічного буру (на першому етапі було відібрано 435 проб). Для подальшого аналізу кількість проб

була об'єднана, 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 нами в результаті аналізу територіальних ґрунтових обстежень, використовуючи класифікації міських ґрунтів М. М. Строганової [117], ґрунтів України Д. Г. Тихоненко [119, 120] та рекомендації А. П. Травлєєва, О. В. Мірзак [87, 121] щодо адаптації степової зони на території міста. Методику виділення ґрунтових горизонтів та морфологічний опис ґрунтового профілю було здійснено за Б. Г. Розановим та С. О. Захаровим [1].

Здійснити оцінку протікання процесів при антропо-техногенному забрудненні кадмієм дозволяють декілька десятків інструментальних методів аналізу, зокрема спектральні, хроматографічні, електрохімічні, але найбільш широкою є група спектральних та інших оптичних методів аналізу, які інтенсивно застосовують у дослідженнях ґрунтів, рослин та інших біологічних об'єктів [133, 246]. В наших дослідженнях був застосований атомно-абсорбційний аналіз – фізичний метод дослідження елементного складу речовини. За важливими для експериментальної та практичної роботи показниками цей метод кращий, ніж багато інших, і більшою мірою задовольняє вимоги науки та практики. Завдяки чутливості атомно-абсорбційного методу можливо отримати найменшу концентрацію елемента, яка викликає поглинання в 1 %.

Основними показниками, що підлягали оцінці в процесі визначення нами фізико-хімічних властивостей ґрунтів були: вміст гумусу, гранулометричний (механічний) склад ґрунту, вміст карбонатів, рН в ґрунтах. Кількість гумусу визначалась методом І. В. Тюріна, гранулометричний (механічний) склад ґрунту визначався за Н. А. Качинським, визначення вмісту карбонатів у ґрунті проводилось за методом А. Ф. Вадюніної, З. А. Корчагіної, значення рН вимірювали за допомогою рН-метру – потенціометричний метод аналізу (ДСТУ 5041:2008, ДСТУ 4768:2007, ДСТУ ISO 10390:2001) [7].

Для визначення валових форм Cd у ґрунті була застосована методика [67, 131]:

1. 5 г повітряно-сухого ґрунту залили 25 мл HNO_3 (1:1), нагріли на піщаній бані протягом 10 хв., долили 5 мл H_2O_2 і знову нагріли на піщаній бані протягом 5–10 хв. 2. Суміш охолодили, відфільтрували у мірній колбі на 50 мл. 3. Фільтри з ґрунтом перенесли в стаканчики, долили 20 мл HNO_3 (1M) і знову нагріли до $t=100$ °C. 4. Охолодили, відфільтрували в ті ж мірні колби, довели до мітки дистильованою водою. Вміст валових форм важких металів оцінили за допомогою атомно-абсорбційного спектрофотометру С–115–М1 (полум'яний варіант).

Для вилучення рухомих форм Cd нами було застосовано ацетатно-амонійну витяжку ґрунту ($\text{pH} = 4,8$). Це зумовлено тим, що відповідне значення pH підтримується в зоні кореневої системи в більшості рослин, тому саме при цьому значенні метали потрапляють у ланцюг живлення. Для визначення потенційно рухомих форм Cd попередньо нами був підготовлений ацетатно-амонійний буфер з $\text{pH}=4,8$, за такою методикою: 1). в мірну колбу місткістю 1 л влили 75 мл водного розчину аміаку (NH_4OH) і 108 мл оцтової кислоти (CH_3OH), довели до мітки дистильованою водою; на pH -метрі провели вимірювання pH отриманого буферу; 2) взяли 5 г середньо змішаної проби ґрунту та залили 50 мл відповідного буферу для одержання ацетатно-амонійної буферної витяжки, поставили на добу відстоюватися. Відфільтрували отриману ацетатно-амонійну витяжку ґрунту й на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С–115–М1 (полум'яний варіант) визначили вміст потенційно рухомих форм Cd. Розрахунок проводили на 1 кг сухої маси ґрунту [67, 131, 176].

З метою отримання показників, які б відображали сучасний стан екосистем міста та зміни, які у них відбуваються за підстилково-опадним коефіцієнтом (ОПК) визначали інтенсивності міграції речовин та Cd. Відбір підстилки проводили за загальноприйнятими методиками [104]. Підстилку вирізали за допомогою рамок 25x25 см. Метод обчислення підстилки, аналогічний відбору її проб [148], у наших дослідженнях проводився влітку (червень–серпень). Визначення маси опаду, який щорічно надходить на поверхню ґрунту, у кожній досліджуваній екосистемі, здійснювалось за допомогою встановлення 10 опадовловлювачів площею 1 м² кожен

(похибка при цьому не перевищує 7,1 %, цей метод запропонований Л. Є. Родіним зі співавторами (1978). Отримані чисельні значення запасів підстилки та опаду (ц/га) у досліджуваних екосистемах було отримано шляхом проведення відповідних розрахунків: $1 \text{ г/м}^2 = 0,1 \text{ ц/га}$, тобто коефіцієнт перерахунку дорівнює 0,1. Проби відбирались з площі $1/16 \text{ м}^2$, тобто для отримання ваги проб на 1 м^2 , необхідно їх середню арифметичну вагу помножити на 16.

Біологічний кругообіг речовин та кадмію у досліджуваних екосистемах міста було визначено за допомогою опадо-підстилкового коефіцієнту (ОПК) за «Десятибальною шкалою числових показників» Л. Є. Родіна і Н. І. Базилевич [104, 105].

Для проведення територіального прогнозу вмісту кадмію валової та рухомої форм на всій території міста у роботі за допомогою інструмента «Інтерполяція» додатку ArcGIS Spatial Analyst методом ординарного крігінга нами побудовано карти, які демонструють інтерпольовані результати виміру валових та рухомих форм кадмію, у тому числі за межами досліджених екологічних профілів едафотопів урбанізованих територій. Встановлення залежності профільного розподілу вмісту важких металів від наближення до джерел техногенного навантаження та геоморфологічних особливостей здійснено за допомогою програмного модулю Microsoft Excel. Карти інтерполяції вмісту кадмію у ґрунтах створено за допомогою ліцензійного програмного забезпечення від американської компанії ESRI – ArcGIS Desktop.

ArcGIS Desktop – це інструмент для створення й використання інформації, який представлено у вигляді трьох самостійних програмних продуктів, що мають різний рівень функціональності: ArcView, ArcEditor, ArcInfo. Оскільки середньоквадратична помилка при побудові карт методом ординарного крігінга має найменше значення, в порівнянні з іншими методами крігінга, а саме: простий, дизюктивний, імовірнісний універсальний, індикаторний, проте метод ординарного крігінга надає можливість інтерпольовати дослідний параметр на всю територію міста, при цьому отримувати найточніший територіальний розподіл, нами було використано саме цей метод [159, 201].

Отримані результати опрацьовувалися методом варіаційної статистики (Лакин, 1990) з використанням спеціалізованих комп'ютерних пакетів програм *Excel* та «*Statistica 7.0*» з рівнем значущості 95%.

РОЗДІЛ 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ҐРУНТІВ м. КАМ'ЯНСЬКЕ ЗА СТУПЕНЕМ ВИРАЗНОСТІ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

4.1. Загальна характеристика та особливості генезу, будови і класифікації ґрунтів м. Кам'янське

Ґрунтовий покрив накопичує інформацію про процеси та зміни, що відбуваються в ньому, тобто ґрунт є своєрідним індикатором не тільки одномоментного стану середовища, але й відбиває минулі процеси. Тому ґрунтовий моніторинг має більш загальний характер і відкриває більші можливості для вирішення прогностичних задач [79].

Розташування міста Кам'янське в пониженій частині рельєфу сприяє осадженню викидів від промислових підприємств і автотранспорту в його котловинній частині. При переважній північно-західній направленості вітру, згідно рози вітрів, в атмосферу міста надходить забруднене повітря від підприємств металургійної, хімічної, коксохімічної, машинобудівної та енергетичної промисловості. Кліматичні умови не сприяють достатньому розсіюванню поллютантів. Щорічно в атмосферу Кам'янського викидається близько 126 тис. т шкідливих речовин. За станом забруднення атмосферного повітря місто відноситься до переліку найбільш забруднених в Україні [116].

Особливий інтерес у ґрунтових екологічних дослідженнях представляє морфологічна будова ґрунтового профілю, що являє собою концентроване відбиття його генезису, історії розвитку, взаємодії факторів ґрунтоутворення [57, 121]. Морфологічні ознаки ґрунтів – це зовнішні ознаки, що дозволяють розрізняти ґрунти, гірські породи, приблизно судити про походження ґрунту, направленості та виразності ґрунтоутворюючого процесу. У ґрунтознавстві найбільше значення мають групи морфологічних ознак ґрунтів: будова ґрунтового профілю, потужність ґрунту, гранулометричний склад, новоутворення, включення [270, 284].

Хоча морфологічна будова ґрунтового профілю має велике значення для розуміння процесів, що відбуваються в ньому, у м. Кам'янське подібних досліджень не проводилось, тому нами був здійснений опис генетичних горизонтів екологічного

профілю едафотопів № 1 (пробні ділянки представлено на картосхемі рис. 3.1), через його найбільшу показовість, з точки зору характеристики едафотопів. При виконанні цієї задачі ми застосовували сучасну класифікацію міських ґрунтів та прийняту в Україні систему символів О. Н. Соколовського [101].

Згідно положень цієї системи горизонти ґрунтів, що утворюються внаслідок діяльності людини і за своїми головними властивостями не відрізняються від природних, позначаються такими ж символами, як і природні, але перед ними ще ставиться символ ознак, пов'язаних із діяльністю людини. Так, рекультивованій насипний ґрунт – «ag», зрошений – «mo», осушений – «m», орний – «a», антропогенно змінений – «ur» [87, 119, 120].

Пробна ділянка – точка 8 картосхеми рис. 3.1 – тальвег балки Водяна, південно-східна частина міста. Деревостани характеризуються тим, що підріст клену гостролистого (*Acer platanoides L.*) та дубу черешчатого (*Quercus robur*) утворюють масу пагонів та знаходяться у слаборозвиненому стані. Травостій практично відсутній.

Опис генетичних горизонтів ґрунтового профілю пробної ділянки:

U _r N ₁	0–20 см	Темно-сірий, гумусований, свіжий, крупнозернистої структури суглинок, корененасичений. Перехід до наступного горизонту мало помітний.
N ₂	20–50 см	Темно-сірий, свіжий, гумусований, горіхуватої структури, рихлий.
N _p	50–70 см	Свіжий, сірий з бурим відтінком, комкувато-горіхуватої структури, зустрічається білоочка.
h _p	70–100 см	Перехідний, темно-бурий, слабогумусований, горіхувато-призматичної структури, містить кротовини, новоутворення карбонатів кальцію у вигляді білоочки.
P _k	100–150 см	Ґрунтоутворююча порода – лес, палевого кольору, пористий, середнього ущільнення, зустрічається білоочка.

Пробна ділянка – точка 9 картосхеми рис. 3.1 – селитебна частина міста, район вул. Водяна – пр. Аношкіна, приватна забудова, переважають одноповерхові будинки.

Опис генетичних горизонтів ґрунтового профілю пробної ділянки:

H ₁	0–20 см	Темно-сірий, гумусований, свіжий, крупнозернистої структури суглинок, корененасичений.
H ₂	20–50 см	Темно-сірий, свіжий, гумусований, горіхуватої структури, рихлий. Зустрічається білоочка
H _p	50–90 см	Перехідний, темно-бурий, слабогумусований, горіхуватої структури, новоутворення карбонатів кальцію у вигляді білоочки.
P _k	90–150 см	Ґрунтоутворююча порода – лес, палевого кольору, пористий, середнього ущільнення, зустрічається білоочка.

Пробна ділянка – точка 10 картосхеми рис. 3.1 – рекреаційна зона міста, масив лісових насаджень в районі вул. Аношкіна. Посадка робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia*) з одиничними екземплярами гледичії колючої (*Gleditsia triacanthos L.*), травостій добре розвинений.

Опис генетичних горизонтів ґрунтового профілю пробної ділянки :

H ₁	0–50 см	Темно-сірий, майже чорний, гумусований, свіжий, горіхуватої структури суглинок, корененасичений. Перехід до наступного горизонту малопомітний.
H ₂	50–70 см	Темно-сірий, свіжий, гумусований, горіхуватої структури, перехід за незначним посвітлінням ґрунту.
H _p	70–105см	Перехідний, темно-бурий, слабогумусований, горіхувато-призматичної структури, містить кротовини.
P _k	105–150 см	Ґрунтоутворююча порода – лесовидний суглинок, зернистої структури, пористий, середнього ущільнення.

Пробна ділянка – точка 11 картосхеми рис. 3.1 – селитебна зона міста, район вул. Колеусівська, представлена багатоповерховою забудовою. Зелені насадження представлені одиничними екземплярами робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia*), тополі чорної (*Populus nigra L.*), травостій відсутній.

Опис генетичних горизонтів ґрунтового профілю пробної ділянки:

H ₁	0–50 см	Темно-сірий, гумусований, сухий, крупно грудкуватої структури суглинок, корененасичений, ущільнений.
H ₂	50–80 см	Сірий, сухий, горіхуватої структури, ущільнений, мало помітний перехід до наступного горизонту.
H _p	80–110 см	Перехідний, сірий суглинок, сухий, горіхуватої структури, менш щільний.
P _k	110–150 см	Ґрунтоутворююча порода – лесовидний суглинок, пористий, середнього ущільнення.

У ґрунтах м. Кам'янське, які піддаються антропо-техногенному впливу, визначено 4 основні ґрунтові горизонти (H₁, H₂, H_p, P_k); ґрунтовий розріз, закладений у тальвезі балки Водяна характеризується більш потужним гумусовим горизонтом (UrH₁). Практично всі горизонти досліджуваних ґрунтових профілів характеризуються горіхуватою структурою та наявністю незначної кількості новоутворень карбонатів кальцію – білоочки.

Класифікаційна проблематика відноситься до найбільш складних розділів ґрунтознавства. Вона є методологічною, філософською основою будь-якої науки. Ґрунтознавство, як відносно молода наука, постійно розвивається, а з її розвитком удосконалюється і класифікація ґрунтів [84, 119]. Тому закономірно, що кожному новому етапу розвитку ґрунтознавства відповідає якісно новий рівень вирішення класифікаційної проблематики, основу якої заклали В. В. Докучаєв і М. М. Сибірцев [51]. На сьогодні у ґрунтознавстві є класифікації ґрунтів, які розроблені відомими ґрунтознавцями світу, а також національні класифікації конкретних країн: Росії, США, Німеччини, Франції, Канади, Великобританії, Китаю, Японії, Індії тощо [120].

На основі аналізу найвідоміших і вживаних класифікацій, зроблено висновок [87], що в жодній з них міським ґрунтам не приділяється належної уваги і, в кращому випадку, їх визначення можливе лише на найбільш високих таксономічних рівнях. Це ускладнює діагностування та невиправдано спрощує сприйняття специфіки міських ґрунтів, як особливих об'єктів дослідження ґрунтознавців. Вперше цій проблемі особливу увагу приділила М. М. Строганова [117]. Вона розробила оригінальну класифікацію ґрунтів і ґрунтоподібних тіл міських територій Росії. Взявши за основу дану розробку, була доповнена міськими ґрунтами існуюча та новітня класифікація ґрунтів України [87]. Екологічна класифікація природних, антропогенно- та антропотехногенно-перетворених ґрунтів степової зони України базується на особливостях профільно-генетичної будови ґрунтових профілів, як достатньо простого та об'єктивного підходу, а також на характері ґрунтоутворюючих порід.

Треба відмітити, що вперше поняття «міські ґрунти» було введено Wockheim (США) у 1974 році [87, 112]. Міські ґрунти визначали як «ґрунтовий матеріал, який містить антропогенний шар несільськогосподарського походження потужністю понад 50 см, утворений шляхом перемішування, заповнення або забруднення поверхні землі на міських та приміських територіях». У подальшому це визначення отримало широке визнання і в незначній модифікації використовується в багатьох країнах світу.

Описані нами ґрунти екологічного профілю № 1 за морфологічним аналізом відносяться до ряду ґрунтів автоморфних з акумулятивно-гумусовим профілем, типу – чорнозем звичайний з позначкою «ug» [87], роду – супіщано-суглинковий, вид – середньоглибокий незасолений.

У разі погіршення екологічного стану територій внаслідок забруднення, наприклад, важкими металами виділяють техногенно забруднені варіанти ґрунтів: 1) слаботехнозабруднені – валовий вміст одного чи кількох металів у 2–3 рази перевищує фоновий рівень; 2) середньотехногеннозабруднені – валовий вміст важких металів перевищує фоновий рівень у 3–5 рази та водночас більше ГДК; 3) сильнотехнозабруднені – вміст валових форм важких металів у 5 разів більше

фонового, ГДК перевищено більше ніж у 2 рази. Досліджені у роботі ґрунти належать до другого варіанту забруднення – середньотехногеннозабруднені.

Досліджувані ґрунти екологічного профілю за класифікацією природних ґрунтів – це чорноземи звичайні, за класифікацією міських ґрунтів – *urbo* чорноземи [87].

Відмітимо, що класифікації міських ґрунтів для Кам'янського проводились Клименко [71] за принципом поділу міста на промислові, транспортні, складські, селитебні, рекреаційні зони, при цьому, згідно класифікації, запропоновано наступні назви ґрунтів: урбаноземи, індустріземи, урбоґрунти, культуроземи, урботехноземи.

Керуючись досвідом класифікаційної оцінки ґрунтів та враховуючи критерії ступеню виразності антропогенного впливу, в своїх дослідженнях ми пропонуємо уніфіковану класифікацію ґрунтів за екоморфологічними особливостями едафотопів саме для м. Кам'янське. Подібні дослідження вважаємо оригінальними. Так 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 № 2–4: пробні площі 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 рїстоземів.

За опрацьованими методиками класифікацій міських ґрунтів, представлені нами дані ми занесли до таблиці, що наглядно демонструє класифікацію, яка на нашу думку є оптимальною для едафотопів урбанізованих територій м. Кам'янське (табл.4.1).

Таблиця 4.1

Класифікація едафотопів урбанізованих територій м. Кам'янське за ступенем виразності антропогенного впливу

Частина міста	Підсистема міста	Коротка характеристика ґрунтового профілю	Типи ґрунтів
Правобережна	Селитебна зона	Складається з діагностичного горизонту «урбік» і серії діагностичних підгоризонтів, які утворені своєрідним пілувато-гумусним субстратом різної потужності та якості з домішками сміття; можуть застилатися непроникним матеріалом – асфальтом, фундаментом, бетонними плитами, комунікаціями. Характеризуються відсутністю генетичних горизонтів до глибини 50 см і більше).	Власне урбаноземи
	Промислова зона	Ґрунти промислово-комунальних зон, техногенно забруднені важкими металами та іншими токсичними речовинами. Ґрунти даної групи часто надмірно ущільнені, безструктурні, з включеннями токсичного матеріалу неґрунтового походження, що становлять більше 20 %.	Плантоземи
	Рекреаційна зона	Антропогенно-поверхнево-перетворені природні ґрунти містять діагностичний горизонт «урбік» потужністю менше 50 см і непорушену нижню частину профілю.	Природні порушені (природно-антропогенні поверхнево-перетворені)
Лівобережна	Селитебна зона Рекреаційна зона	Техногенні поверхневі ґрунтоподібні утворення, ґрунтоподібні тіла, що складаються з малопотужного гумусового шару, шару торфо-компостної суміші або шару органо-мінеральної речовини, нанесених на поверхню ґрунтоподібного субстрату.	Рістоземи

Фізико-географічну характеристику урбоекосистем – місць проведення досліджень (табл. 4.2), космознімки (скріншоти) даних екосистем представлено у Додатку А.

Таблиця 4.2

Коротка фізико-географічна характеристика досліджуваних едафотопів
урбанізованих територій м. Кам'янське

Урбанізовані території (пробні ділянки)	Координати едафотопів урбанізованих територій	Альтитуда, м	Тип ґрунтів
Правобережна частина міста			
<i>екологічний профіль едафотопів № 2</i>			
1	48°29'53"N 34°36'16"E	161	плантоземи
2	48°30'00"N 34°36'26"E	152	плантоземи
3	48°30'29"N 34°36'39"E	85	власне урбаноземи
4	48°30'49"N 34°36'44"E	76	власне урбаноземи
5	48°31'18"N 34°36'53"E	79	плантоземи
6	48°31'07"N 34°36'16"E	79	природні порушені
<i>екологічний профіль едафотопів № 1</i>			
7	48°28'59"N 34°38'13"E	174	плантоземи
8	48°29'18"N 34°38'43"E	127	природні порушені
9	48°29'48"N 34°38'34"E	100	власне урбаноземи
10	48°29'51"N 34°38'31"E	103	власне урбаноземи
11	48°30'13"N 34°39'04"E	81	плантоземи
<i>екологічний профіль едафотопів № 3</i>			
12	48°29'38"N 34°33'58"E	178	власне урбаноземи
13	48°30'26"N 34°34'31"E	124	природні порушені
14	48°30'29"N 34°34'46"E	168	природні порушені
15	48°30'44"N 34°34'21"E	162	власне урбаноземи
16	48°30'56"N 34°34'26"E	152	власне урбаноземи
17	48°31'08"N 34°34'47"E	127	власне урбаноземи
18	48°31'51"N 34°35'53"E	58	природні порушені
<i>екологічний профіль едафотопів № 4</i>			
19	48°30'17"N 34°33'24"E	169	природні порушені
20	48°30'30"N 34°33'38"E	143	природні порушені
21	48°30'35"N 34°34'06"E	129	власне урбаноземи
22	48°31'27"N 34°33'20"E	102	плантоземи
23	48°31'47"N 34°33'56"E	81	власне урбаноземи
24	48°32'13"N 34°33'48"E	86	плантоземи
Лівобережна частина міста			
<i>екологічний профіль едафотопів № 5</i>			
25	48°35'32"N 34°33'42"E	71	рістоземи
26	48°35'37"N 34°34'19"E	62	рістоземи
27	48°36'09"N 34°33'40"E	64	рістоземи
28	48°36'22"N 34°33'51"E	69	рістоземи
29	48°36'58"N 34°33'43"E	65	рістоземи

4.2. Коротка фізико-хімічна характеристика едафотопів урбанізованих територій м. Кам'янське

Формування ґрунтів відбуваються під впливом кліматичних умов, геологічної структури материнської породи, флори та фауни конкретної місцевості, тому в різних регіонах вони суттєво відрізняються. Зважаючи на це, вивчення як природних біогеоценозів, так і урбоєкосистем неможливе у відриві від вивчення особливостей ґрунтового покриву регіону, що досліджується [74, 220].

Основними показниками, що підлягали оцінці в процесі визначення нами фізико-хімічних властивостей ґрунтів були: вміст гумусу, гранулометричний (механічний) склад ґрунту, вміст карбонатів, рН в ґрунтах [4, 33, 196, 208, 224].

Так, основними показниками, що підлягали оцінці в процесі визначення нами фізико-хімічних властивостей ґрунтів були: вміст гумусу, гранулометричний (механічний) склад ґрунту, вміст карбонатів, рН в ґрунтах.

Процеси утворення гумусових речовин в міських ґрунтах відбуваються під дією комплексу природних чинників – кліматичних, геоморфологічних, геологічних, біологічних, однак на їхню динаміку суттєво впливає специфіка міських ґрунтів: особливості водного, повітряного, окисно-відновного режимів, постійне надходження великих кількостей різноманітних забруднювачів тощо [10, 121, 229].

Гумус – складна полідисперсна система азотистих сполук кислої природи, яка утворюється у результаті розкладання та гуміфікації органічних решток у ґрунті. Відомо, що вміст гумусу у верхніх ґрунтових горизонтах коливається від 0,5 до 20,0 %. Джерелом його надходження є органічні рештки рослин, мікроорганізмів і тварин. Особливою характерністю гумусових речовин (рис. 4.1) є їх неоднорідність, тобто наявність різних властивостей компонентів. Гумусні речовини поділяють на такі види сполук: гумінові кислоти, фульвокислоти, гуміни, гіматомеланові кислоти [264].

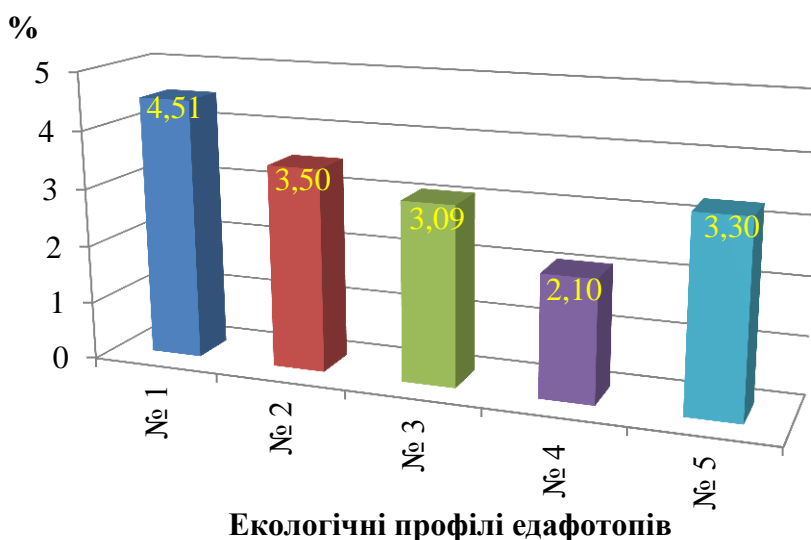


Рис. 4.1. Вміст гумусових речовин у ґрунтах м. Кам'янське

За нашими дослідженнями, переважно всі ґрунти, які підлягали обстеженню, екологічних профілів едафотопів (№ 1–4 правобережна, № 5 – лівобережна частини міста) м.Кам'янське характеризуються різним вмістом органічного вуглецю та вмістом гумусу. Вміст гумусу [122, 232] визначають із розрахунку, що в його складі міститься в середньому значенні 58 % органічного вуглецю, відомо, що в 1 г С міститься 1,724 г гумусу:

$$\text{Гумус (\%)} = \text{C (\%)} \cdot 1,724 \quad (4.1)$$

Отримані результати порівняємо з даними типів ґрунтів по забезпеченості гумусом (табл. 4.3) та визначимо його ступінь .

Таблиця 4.3

Типи ґрунтів по забезпеченості гумусом досліджуваних едафотопів екологічних профілів № 1–5 м. Кам'янське

Ступінь забезпеченості, %	Типи ґрунтів	Вміст гумусу в екологічних профілях				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
≤ 1	Вкрай збіднені	-	-	-	-	-
1,01 – 2,0	Збіднені	-	-	-	-	-
2,01 – 3,0	Недостатньо забезпечені	-	-	-	-	-
3,01 – 4,0	Середньо забезпечені	-	-	-	3,62	-
≥ 4,0	Добре забезпечені	7,78	6,03	5,33	-	5,69

Так, для едафотопів екологічного профілю № 1 середній вміст гумусових речовин складає 4,51 %, а гумусу – 7,78 %, що є найвищим показником серед усіх досліджуваних едафотопів. Ґрунти екологічного профілю № 2 відмічаються середнім умістом гумусових речовин 3,5 %, що відповідає вмісту гумусу 6,03 %. Ґрунти екологічного профілю № 3 дещо схожі за кількістю гумусових речовин (3,09 %) та середнім вмістом гумусу (5,33%) із даними екологічного профілю № 2. Ґрунти екологічного профілю № 4 відрізняють найнижчі показники вмісту гумусових речовин – 2,10 % та гумусу 3,62 %. Вміст гумусових речовин в ґрунтах екологічного профілю № 5 складає 3,30 %, а середній вміст гумусу – 5,69 %.

Аналізуючи отримані результати досліджень можна зробити висновок, що за ступенем забезпеченості гумусом ґрунти екологічного профілю № 4 відносяться до середньо забезпечених, ґрунти всіх інших екологічних профілів – добре забезпечені.

Тверда фаза ґрунтоутворюючих порід і ґрунтів містить в своєму складі частки різної розмірності – механічні елементи. Вони мають органічний, мінеральний та органо-мінеральний генезис і представлені уламками гірських порід, окремими зернами мінералів, гумусових речовини, сполук органічних і мінеральних речовин (табл.4.4).

Таблиця 4.4

Класифікація ґрунтів за механічним складом (степовий тип ґрунтоутворення) [67]

Група ґрунтів	Назва ґрунтів за механічним складом	Вміст, %	
		фізичної глини <0,01 мм	фізичного піску >0,01 мм
Легкі	Піщаний	0–10	100–90
	Супіщаний	10–20	90–80
Середні	Легкосуглинистий	20–30	80–70
	Середньосуглинистий	30–45	70–55
Важкі	Важкосуглинистий	45–60	55–40
	Глинистий	>60	<40

Від механічного складу ґрунтоутворюючих порід і ґрунтів у великій мірі залежить інтенсивність великої кількості ґрунтоутворюючих процесів, які пов'язані зі трансформацією, переходом і акумуляцією органічних і мінеральних сполук у ґрунті. Внаслідок однакових природних умов з породами різного механічного складу утворюються ґрунти з неоднаковими властивостями та гранулометричним складом (рис.4.2).

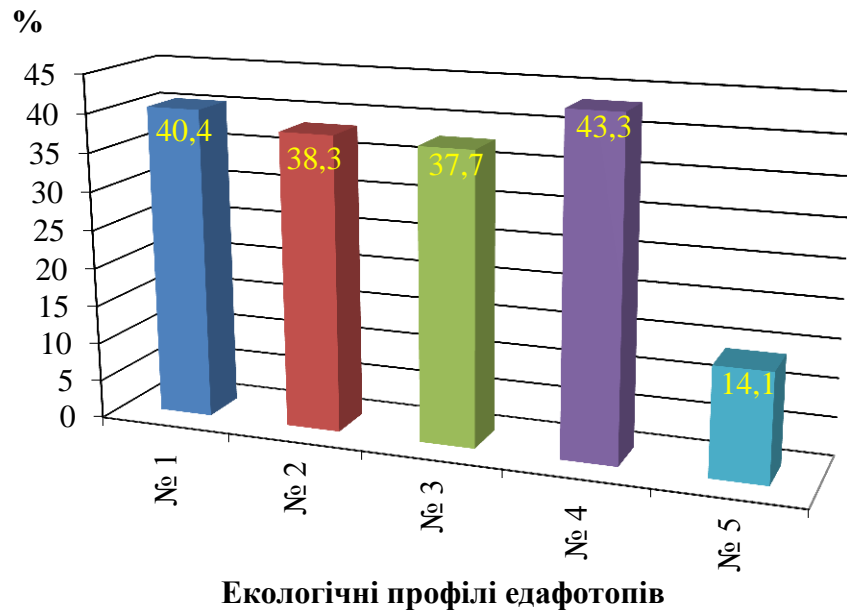


Рис. 4.2. Вміст фізичної глини у ґрунтах м. Кам'янське

Еколого-генетичний статус досліджуваних ґрунтів міста Кам'янське за гранулометричним складом відноситься до середньосуглинистих – екологічні профілі едафотопів №1–4 та супіщаних – екологічний профіль едафотопів № 5. Конкретизація еколого-генетичного статусу досліджуваних ґрунтів міста Кам'янське за гранулометричним складом продемонструвала, що едафотопи екологічних профілів №1–4 відповідають середньосуглинистим (40,4; 38,3; 37,7; 43,3%, відповідно), а екологічного профілю едафотопів № 5 – супіщаним (14,1%) ґрунтам.

В процесі ґрунтоутворення в едафотопах виникають різні своїм хімічним складом сполуки. Частина з яких розподіляються в ґрунтовому профілі відносно рівномірно, а інша – у вигляді різного роду новоутворень (скупчень, згущень).

Розрізняють ґрунтові новоутворення біогенного та хімічного походження. Хімічні новоутворення представлені карбонатами та сульфідами (рис. 4.3).

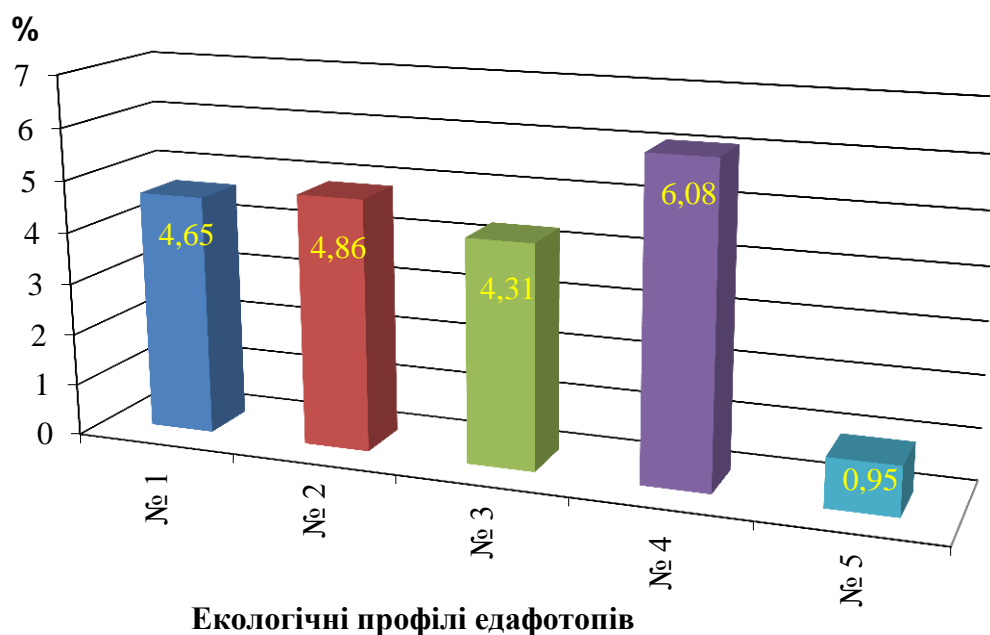


Рис. 4.3. Вміст карбонатів у ґрунтах м. Кам'янське

За ступенем карбонатності ґрунтів досліджувані едафотопи екологічних профілів можна охарактеризувати як середньокарбонатні та малокарбонатні.

Так, едафотопи правобережної частини міста екологічних профілів № 1–4 за вмістом карбонатів у ґрунтах визначаються як середньокарбонатні, треба відмітити, що ґрунти екологічного профілю № 4 відмічаються максимальним значенням вмісту CaCO_3 – 6,08%, інші – в діапазоні 4,31–4,56 %. Виняток становлять едафотопи лівобережної частини міста екологічного профілю № 5, де вміст карбонатів є мінімальним і складає 0,95 %, що дозволяє віднести ґрунти даного екологічного профілю до малокарбонатних.

Визначення рН водної витяжки у ґрунтах всіх досліджуваних екологічних профілів едафотопів м. Кам'янське є важливою властивістю, що визначає головні генетичні ґрунтові якості (у т.ч. родючість) в процесі свого розвитку під впливом різних факторів ґрунтоутворення. Це також і одна з діагностичних ознак ґрунту, що підтверджує важливість вивчення кислотності ґрунтів (рис. 4.4).

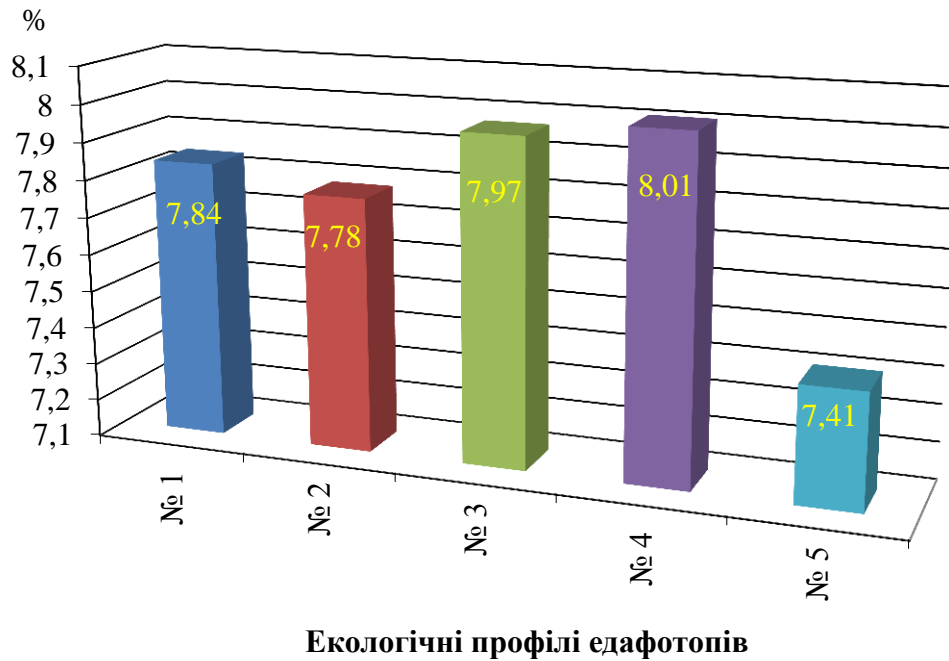


Рис.4.4. Значення рН водної витяжки у ґрунтах м. Кам'янське

Кислотність ґрунту – це його властивість підкислювати ґрунтовий розчин через наявність кислот в складі ґрунту, обмінних іонів H^+ та катіонів, що утворюються при їх заміщенні гідролітично кислі солі (наприклад, Al^{3+}) [68]. Водневий показник кислотності (рН) являє собою від'ємний десятинний логарифм концентрації водневих іонів (моль/дм³):

$$pH = - \lg [H^+].$$

Типовим явищем для екологічних профілів є лужна реакція ґрунтів. Усі досліджувані ґрунти, які склали екологічні профілі едафотопів № 1–5 характеризуються як лужні. Мінімальне значення рН (7,41) зафіксовано в едафотопах лівобережної частини міста (екологічний профіль едафотопів № 5), в ґрунтах правобережної частини Кам'янського (екологічні профілі едафотопів № 1–4) відмічено значення рН в діапазоні 7,78–8,01, що є досить схожими показниками.

У літературних джерелах наявні дані про рухомість кадмію залежно від кислотності ґрунтового розчину [60, 212, 213, 245, 274, 278, 281], відомо, що в залежності від кислотної реакції ґрунту змінюється й рухомість самого металу. Так, у кислих ґрунтах рН < 5,5 Cd рухомий, а в мало кислих і нейтральних – рН 5,5–7,5 та в лужних і сильнолужних рН 7,5–9,5 кадмій малорухомий, що являє значний інтерес

в якості встановлення ґрунтових бар'єрів, для пояснення механізмів міграції Cd латерально та радіально [250, 259, 261, 262, 174].

Висновки по розділу:

1. У ґрунтах м.Кам'янське, які піддаються антропо-техногенному впливу, в середньому наявні 4 ґрунтові горизонти (H_1 , H_2 , H_p , P_k). Ґрунтовий розріз, закладений у тальвегу балки Водяна характеризується більш потужним гумусовим горизонтом (UrH_1), порівняно із розрізами інших ділянок, де цей шар був незначний або зовсім відсутній.
2. Практично всі горизонти досліджуваних ґрунтових профілів характеризуються горіхуватою структурою та наявністю новоутворень карбонатів кальцію – білоочки.
3. Едафотопи міста Кам'янське за ступенем виразності антропогенного впливу віднесли до наступних типів:
 - ґрунти правобережної частини міста Кам'янське складають екологічні профілі едафотопів № 1–4 (пробні площі 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 площі 7–11 та 12–18);
 - ґрунти зони відпочинку (екологічні профілі едафотопів № 2–4: пробні площі 1–6 та 19–24) належать до типу природних порушених (природно-антропогенних поверхнево-перетворених);
 - ґрунти лівобережної частини Кам'янського (екологічний профіль едафотопів № 5: пробні площі 25 – 29) належать до рістоземів.
4. Результати визначення вмісту гумусу показали, що за ступенем його забезпеченості ґрунти екологічного профілю № 4 відносяться до середньо забезпечених, ґрунти екологічних профілів № 1, 2, 3, 5 – добре забезпечені.

5. Конкретизація еколого-генетичного статусу досліджуваних ґрунтів міста Кам'янське за гранулометричним складом продемонструвала, що едафотопи екологічних профілів №1–4 відносяться до середньосуглинистих, а екологічного профілю № 5 – до супіщаних.
6. За ступенем карбонатності ґрунтів досліджувані едафотопи екологічних профілів можна охарактеризувати як середньокарбонатні та малокарбонатні. Визначення рН водяної витяжки у ґрунтах всіх досліджуваних екологічних профілів м. Кам'янське показав, що типовим явищем для урбоекосистем є лужна реакція.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

- Гунько, С. О. (2015). Екоморфологічні особливості едафотопів міста Дніпродзержинськ. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 44, 146–150.
- Гунько, 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.
- Гунько, С. О., Цветкова, Н. М. (2015). Екологічна характеристика кадмію в природних та антропогенно-змінених ґрунтах м. Дніпродзержинськ. *Неделя еколога–2015: Доклады международного научного симпозиума*. (С. 196). Днепродзержинск: ДГТУ.

РОЗДІЛ 5. ВМІСТ КАДМІЮ В ЕДАФОТОПАХ МІСТА

5.1. Латеральний та радіальний розподіл Cd в едафотопях урбанізованих територій м. Кам'янське

Геохімічна структура ландшафтів базується на вченні про геохімічні бар'єри О. І. Перельмана [98, 99] та доповнена сучасними дослідженнями М. К. Чертко та інших вчених [66, 85, 100, 106, 137, 141, 189, 249].

Зовнішні фактори міграції визначають їх умови, концентрації та розсіювання хімічних елементів [123, 124]. В результаті формуються просторові закономірності розподілу, що виражаються в утворенні геохімічної структури ландшафтів у латеральному та радіальному напрямках [78, 108, 142, 149, 185]. Принцип виділення геохімічної структури заснований на аналізі особливості концентрації хімічного елементу в латеральній та радіальній структурі (табл.5.1).

Таблиця 5.1

Види геохімічної структури ландшафтів

Вид структури	Особливості розподілу елементів
Латеральна	
Висхідна (асцендіальна)	Підвищення елементів до зниження рельєфу
Спадна (дисцендіальна)	Підвищення елементів до підвищення рельєфу
Депресійна	Зменшення елементів в середині катени
Пікоподібна	Збільшення елементів в середині катени
Рівномірна	Елементи рівномірно розподілені за профілем
Радіальна (вертикальна)	
Невиразна	Вміст елементів майже не змінюється
Гумусова	Максимум елементів в ґрунтовому горизонті А1
Гумусо-елювіальна	Максимум елементів в горизонтах А1, А2
Гумусо-ілювіальна	Максимум елементів в горизонтах А1, В
Елювіальна	Максимум елементів в ґрунтовому горизонті А2В1
Елювіально-ілювіальна	Максимум елементів в горизонтах А2В1 та В
Ілювіальна	Максимум елементів в ґрунтовому горизонті В
Лесивована	Збільшення елементів з глибиною профілю ґрунтів

Коротко охарактеризуємо види латеральної та радіальної структур ландшафтів. Латеральна геохімічна структура в межах екологічного профілю (катени) представлена п'ятьма видами. Висхідна (асцендіальна) характеризується підвищенням концентрації елементів у напрямку супераквального ландшафту. Спадна (дисцендіальна) відмічається підвищенням кількості елементів в напрямку елювіального ландшафту. Радіальна геохімічна структура більш різноманітна і нараховує вісім видів. У невиразній структурі хімічні елементи розподіляються рівномірно або близько до рівномірного по всьому вертикальному профілю ґрунт-порода. За концентрацією елементів в гумусовому горизонті ґрунту виділяється гумусова структура. Якщо відбувається перерозподіл колоїдних часток з хімічними елементами за глибиною профілю ґрунтів і порід, а їх вміст поступово збільшується з глибиною, такий розподіл елементів характеризується лесивованою структурою.

Одним з найважливіших компонентів біогеоценозу (урбосистеми) є ґрунти, які здатні поглинати більшу частину забруднювачів з аеральних потоків. Відомо, що навколо джерел промислових аерозольних викидів в атмосферу утворюється локальна зона підвищених (порівняно з природним фоном) концентрацій забруднюючих речовин у ґрунті [138].

Визначення меж локальної зони забруднення досить умовне, оскільки воно залежить від можливості розділити фоновий вміст металів у ґрунті від кількості хімічного елементу, що потрапила у ґрунт з певного джерела. Відомо, що довжина зони локального забруднення ґрунтів металами досягає 10–20 км. При цьому найбільш високі рівні забруднення відзначаються у зоні 3–5 км від джерела. Найбільша довжина локальної зони забруднення збігається з напрямком переважаючого вітру [107]. Вона залежить також від висоти дисперсного складу викиду, швидкості вітру, кількості опадів і його розподілу за розою вітрів та інших факторів [78, 86, 108, 111]. З представлених у роботі даних прослідковується тенденція до збільшення вмісту валової форми кадмію з півдня на північ при наближенні до промислової зони, розташованої в північній правобережній частині м. Кам'янське (табл.5.2).

Таблиця 5.2

Матриця вмісту валових і рухомих форм кадмію екологічних профілів едафотопів № 2, 5 урбанізованих територій м. Кам'янське (n = 230), мг/кг абсолютно сухого ґрунту

Місце відбору проб ґрунтів Тип ґрунту	Ґрунтовий горизонт, см	Валова форма	Рухома форма	Урбанізовані території (пробні ділянки)
1	2	3	4	5
Правобережна частина міста: екологічний профіль едафотопів № 2				
Залізничний вокзал (р-н житлової забудови) Плантоземи	0–10	2,57 ± 0,25	0,08 ± 0,007	1
	20–50	2,51 ± 0,23	0,16 ± 0,012	
	50–80	2,21 ± 0,21	0,14 ± 0,011	
	120–150	2,01 ± 0,20	0,14 ± 0,010	
Автовокзал (р-н житлової забудови) Плантоземи	0–10	2,69 ± 0,27	0,08 ± 0,002	2
	20–50	2,54 ± 0,15	0,08 ± 0,003	
	50–80	2,49 ± 0,23	0,08 ± 0,002	
	120–150	2,00 ± 0,15	0,08 ± 0,001	
Просп. Аношкіна Власне урбаноземи	0–10	3,69 ± 0,35	0,16 ± 0,011	3
	20–50	3,40 ± 0,28	0,08 ± 0,003	
	50–80	3,15 ± 0,25	0,05 ± 0,002	
	120–150	2,52 ± 0,15	0,04 ± 0,001	
Вул. Ковалевича Власне урбаноземи	0–10	5,65 ± 0,54	0,11 ± 0,002	4
	20–50	5,59 ± 0,51	0,08 ± 0,001	
	50–80	4,50 ± 0,42	0,06 ± 0,001	
	120–150	4,10 ± 0,39	0,06 ± 0,001	
Просп. Свободи (сквер, р-н ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат») Плантоземи	0–10	7,59 ± 0,62	0,98 ± 0,085	5
	20–50	7,31 ± 0,65	0,73 ± 0,063	
	50–80	5,01 ± 0,42	0,39 ± 0,029	
	120–150	4,39 ± 0,31	0,38 ± 0,002	
Центральний міський парк Природні порушені	0–10	6,74 ± 0,52	0,51 ± 0,025	6
	20–50	6,31 ± 0,59	0,38 ± 0,012	
	50–80	5,86 ± 0,56	0,35 ± 0,010	
	120–150	5,42 ± 0,48	0,31 ± 0,010	
Лівобережна частина міста: екологічний профіль едафотопів № 5				
Просп. Перемоги (9 мкрн., р-н кінотеатру Мир) Рістоземи	0–10	0,91±0,05	0,03±0,001	25
	20–50	0,98±0,08	0,03±0,002	
	50–80	0,71±0,05	0,34±0,021	
	120–150	0,63±0,03	0,24±0,019	

продовження таблиці 5.2

Вул. Харківська (1 мкрн., р-н парку «Лівобережний») Рістоземи	0–10	0,57±0,02	0,08±0,006	26
	20–50	0,49±0,02	0,08±0,005	
	50–80	0,50±0,02	0,05±0,004	
	120–150	0,42±0,03	0,06±0,003	
Просп. Металургів (2 мкрн., р-н парку «Лівобережний») Рістоземи	0–10	0,61±0,02	0,09±0,004	27
	20–50	0,51±0,02	0,08±0,006	
	50–80	0,50±0,02	0,05±0,006	
	120–150	0,52±0,03	0,05±0,003	
Б-р Героїв (3 мкрн.) Рістоземи	0–10	1,11±0,05	0,04±0,002	28
	20–50	1,06±0,05	0,04±0,001	
	50–80	1,01±0,04	0,03±0,001	
	120–150	1,00±0,04	0,03±0,001	
Просп. Дружби Народів (5мкрн., сухуватий бор), Рістоземи	0–10	0,83±0,05	0,37±0,019	29
	20–50	0,80±0,08	0,36±0,020	
	50–80	0,73±0,05	0,34±0,021	
	120–150	0,68±0,03	0,34±0,029	
Еталон*	0-50	0,3±0,01	0,1±0,01	
ГДК (регіональний фон)		3,0	0,7	

* – Чорнозем звичайний різнотравно-кострицево-ковилевого степу Присамар'я Дніпровського

У ґрунтах усіх досліджуваних нами урбанізованих територій правобережної частини міста (екологічний профіль едафотопів № 2: т. 1–6) прослідковується досить відмітний вміст Cd (валова та рухома форми). Так, найменшою концентрацією валової форми кадмію характеризуються плантоземи району житлової забудови залізничного вокзалу: у корененасиченому шарі ґрунту (0–50 см) концентрація кадмію варіює в межах $2,57 \pm 0,25$ – $2,51 \pm 0,23$ мг/кг, ці показники знаходяться у відповідності з існуючими нормативними даними, які не перевищують їх. Це аргументується тим, що викиди залізничного транспорту не є джерелом надходження Cd до біосфери, а в умовах промислового міста Кам'янське важливу роль відіграє рельєф місцевості – дана пробна ділянка розташована на висоті 161 м над рівнем моря, що є досить високим значенням як для всього міста, так і в межах досліджуваного екологічного профілю едафотопів.

Подальший латеральний аналіз ґрунтів екологічного профілю едафотопів № 2 за вмістом кадмію (валової та рухомої форми) свідчить про збільшення його концентрації зі зменшенням альтитуди місцевості.

Радіальний розподіл кадмію демонструє, що вміст цього слідового елементу в плантоземах проспекту Свободи варіює в діапазоні $7,59 \pm 0,62$ у верхньому горизонті ґрунту 0–10 см до $4,39 \pm 0,31$ мг/кг у шарі ґрунту 120–150 см, в природних порушених ґрунтах центрального міського парку – від $6,74 \pm 0,52$ до $5,42 \pm 0,48$ мг/кг ґрунту, відповідно, що свідчить про перевищення регіонального фону майже вдвічі, хоча ця територія являється центральним міським парком відпочинку городян, але через максимальну наближеність до ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (знаходиться у факельній зоні) зазнає значного антропо-техногенного навантаження.

Максимальна акумуляція кадмію спостерігається в ґрунтах, що перебувають в умовах найбільшого антропо-техногенного пресу, а саме розташованих поблизу великих промислових підприємств і транспортних розв'язок що виступають основними джерелами надходження кадмію у повітря м. Кам'янське та, як наслідок, у його ґрунтовий покрив.

Узагальнюючи особливості розподілу Cd екологічного профілю едафотопів № 2 латерально, можна судити про висхідний (асцендіальний) вид структури ландшафту, оскільки саме він характеризується підвищенням концентрації кадмію з пониженням рельєфу.

Розподіл Cd у ґрунті радіально (шар ґрунту 0–150 см) є досить неоднорідним. В екологічному профілі едафотопів № 2 можна виділити наступні види геохімічної структури ландшафтів: 1) невиразний (т. 1 і 2) – плантоземи району житлової забудови біля залізничного та автовокзалів характеризуються незначною зміною вмісту валової форми кадмію ($2,57 \pm 0,25$ – $2,01 \pm 0,20$ та $2,69 \pm 0,27$ – $2,00 \pm 0,15$ мг/кг ґрунту, відповідно); 2) гумусовий (т. 4, 5, 6) – власне урбаноземи, плантоземи, природні порушені ґрунти відзначаються максимальним рівнем вмісту валової форми Cd у ґрунтовому горизонті.

Ґрунти екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 5) відмічаються дещо підвищеним рівнем вмісту як рухомої, так і валової форми кадмію. Так, тільки у ґрунтових горизонтах 0–10 та 20–50 см плантоземів (сквер, район впливу ПАТ

«Дніпровський металургійний комбінат») досліджено вміст мікроелементу рухомої форми в кількості $0,98 \pm 0,085$ та $0,73 \pm 0,063$ мг/кг ґрунту, відповідно.

Радіальний розподіл рухомої форми кадмію у плантоземах пробних ділянок (т. 1 і 2): 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, а в шарі 120–150 см вже дорівнює $0,14 \pm 0,010$ мг/кг, це свідчить про лесивований вид структури ландшафту. Інтервал варіювання рухомої форми Cd в едафотопах урбанізованих територій пробної ділянки (т. 2) залишається незмінним по всій глибині ґрунтового розрізу (0–150 см) і складає $0,08 \pm 0,002$ – $0,08 \pm 0,01$ мг/кг ґрунту, що дає підставу охарактеризувати цей вид ландшафту за геохімічною структурою як невиразний.

Ґрунти інших пробних ділянок екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 3–4 – власне урбаноземи та т. 5 – плантоземи) характеризуються максимальним вмістом рухомої форми Cd у шарі ґрунту 0–10 см і варіюють в межах від $0,98 \pm 0,085$ – $0,51 \pm 0,025$ мг/кг ґрунту (т. 5 і 6) до $0,16 \pm 0,011$ – $0,11 \pm 0,002$ мг/кг ґрунту (т. 3 і 4), відповідно. Радіальний розподіл рухомої форми важкого металу характеризує досліджені ландшафти як гумусові.

Загальний розподіл всіх форм кадмію характеризується істотною варіабельністю, яка обумовлена особливостями розташування промислових підприємств у місті, потужністю і складом їх викидів, напрямком техногенних потоків, геоморфологічними особливостями міста.

Вміст та розподіл кадмію в едафотопах урбанізованих територій лівобережної частини міста істотно відрізняється від правобережної частини м. Кам'янське . Рістоземи лівобережної частини (екологічний профіль едафотопів № 5, пробні ділянки т. 25–29) характеризуються досить однорідним вмістом як валової, так і рухомої форм кадмію та не перевищують даних регіонального фону.

Привертають увагу дані вмісту кадмію валової форми у рістоземах в діапазоні варіювання $1,11 \pm 0,05$ – верхній (0–10 см) до $1,00 \pm 0,04$ мг/кг нижній (120–150 см) шар ґрунту (точка 28 – селитебна зона на бульварі Героїв): хоча дані свідчать про низький вміст концентрації, майже втричі менше регіонального фону, але не

прослідковується майже ніякого руху металу по ґрунтовому профілю, що дає підстави класифікувати даний ландшафт як невиразний.

Інтервал варіювання рухомої форми Cd максимальних значень набуває у рістоземах пробної ділянки (т. 29) – $0,37 \pm 0,019$ – $0,34 \pm 0,029$ мг/кг ґрунту, так само, як і валової форми. Значення знаходиться в межах регіонального фону, але суттєво відрізняється від інших інформативних показників, вид геохімічної структури ландшафту – гумусовий. Пробна ділянка (точка 29) розташована у селитебній зоні, що межує зі штучними насадженнями сухуватого бору, ймовірно, саме хвойні насадження впливають на вміст рухомої форми кадмію в даному ґрунтовому горизонті.

Загалом, едафотопи екологічного профілю № 5 характеризується найменшим вмістом валових та рухомих форм важкого металу, майже не зазнає перерозподілу по ґрунтовому горизонту.

Розглянемо окремо інформаційні показники вмісту кадмію (валової та рухомої форм) в едафотопах кожного з екологічних профілів, табл. 5.3–5.12. В кожній таблиці наведено перелік галузей промисловості, які впливають на вміст і розподіл Cd в едафотопах. У таблицях представлені розрахунки відсотку відношення вмісту кадмію в дослідних ділянках до середнього значення його кількості в ґрунті еталонної ділянки – чорноземі звичайному різнотравно-кострицево-ковилевого степу Присамар'я Дніпровського. Ця інформація свідчить на скільки відсотків або у скільки разів, порівняно з еталонною ділянкою, отримані середні значення вмісту валової та рухомої форм кадмію в дослідних ділянках урбанізованих територій закладених екологічних профілів едафотопів перевищують еталонне значення.

Наведені порівняльні дані вмісту валової та рухової форм кадмію кожного генетичного горизонту всіх закладених екологічних профілів № 1–5 для дослідження міграційної здатності Cd латерально та радіально. В якості еталонної ділянки обрано чорнозем звичайний різнотравно-кострицево-ковилевого степу Присамар'я Дніпровського. Додатково в таблиці наведено: «%» – відсоток: відношення середнього вмісту Cd в досліджуваних едафотопах урбанізованих

територій до вмісту в чорноземі звичайному різнотравно-кострицево-ковилевого степу Присамар'я Дніпровського.

Таблиця 5.3

Концентрація кадмію (валова форми) у едафотобах урбанізованих територій екологічного профілю № 2 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисловості	Ґрунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Концентрація Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
Правобережна центр	Металургійна, машинобудівна, хімічна	0–10	1	2,82	2,32	2,57	856,7
			2	2,92	2,46	2,69	896,7
			3	4,04	3,34	3,69	1230,0
			4	6,19	5,11	5,65	1883,3
			6	7,26	6,22	6,74	2246,7
			5	8,21	6,97	7,59	2530,0
		20–50	1	2,74	2,28	2,51	836,7
			2	2,69	2,39	2,54	846,7
			3	3,68	3,12	3,40	1133,3
			4	6,10	5,08	5,59	1863,3
			6	6,90	5,72	6,31	2103,3
			5	7,96	6,66	7,31	2436,7
		50–80	1	2,42	2,00	2,21	736,7
			2	2,72	2,26	2,49	830,0
			3	3,40	2,90	3,15	1050,0
			4	4,92	4,08	4,50	1500,0
			6	6,42	5,30	5,86	1953,3
			5	5,43	4,59	5,01	1670,0
		120–150	1	2,21	1,81	2,01	670,0
			2	2,15	1,85	2,00	666,7
			3	2,67	2,37	2,52	840,0
			4	4,49	3,71	4,10	1376,7
			6	5,90	4,94	5,42	1806,7
			5	4,70	4,08	4,39	1463,3
Еталон		0–50		0,3			
ГДК (регіональний фон)				3,0			

Отримані дані свідчать про чітку тенденцію: значне підвищення вмісту валової форми кадмію у ґрунтах збігається із максимальним наближенням до основних підприємств-забруднювачів міста. Радіальний розподіл Cd урбанізованих територій (т. 6–5) характеризуються значним підвищенням вмісту валової форми кадмію, як

максимального, мінімального так і середнього значення. Такий розподіл пояснюється розташуванням пробних ділянок у факельній зоні одного з найбільших підприємств промислового комплексу України з повним металургійним циклом ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат». На території цього підприємства, в свою чергу, розміщується ПрАТ «Дніпровагонмаш» – підприємство машинобудівного комплексу промисловості, яке в своєму складі містить дочірнє підприємство ДП «Стальзавод», яке здійснює виробництво вагонного лиття, сталюї та чавунної дробі. Окремий внесок у забруднення центральної частини міста привносить підприємство УПП «Парус-метиз», що виготовляє вироби з дроту, ланцюгів та пружин.

Окремо слід зазначити, що на розподіл кадмію впливає коливання висотних позначок (альтитуда) урбанізованих територій дослідження. Так, саме точки 6, 5 та 4 мають найменші значення – це 79, 79 та 76 м над рівнем моря, відповідно. Якщо не брати до уваги лівобережну частину міста, на яку вищезгадані підприємства промислового комплексу чинять мінімальний вплив через значну віддаленість, то саме ці точки 6, 5, 4, мають найнижчі показники альтитуди та максимальну наближеність до підприємств металургійного та машинобудівного та хімічного комплексу (тут йдеться про вплив ТОВ ПП «ЗІП»– підприємства з виробництва лакофарбової продукції).

Порівняння отриманих даних з українським стандартом (ГДК) та регіональним фоном, свідчать про найбільше перевищення максимальних значень вмісту кадмію у валовій формі в точках 4, 5 і 6 ґрунтового горизонту (0–10 та 20–50 см). У порівнянні даних із еталонною ділянкою кратність перевищення складає у 18 раз – для пробної ділянки едафотопів урбанізованих територій точка 4, в 22 і 21 рази – для едафотопів пробної ділянки точка 6 і 25–24 рази – для едафотопів пробної ділянки точка 5.

В ґрунтах переважної більшості пробних ділянок т. 4, 5 і 6, які характеризувалися максимальною концентрацією валового вмісту кадмію, зафіксовано перевищення показника ГДК (регіонального фону) рухомої форми досліджуваного важкого металу екологічного профілю едафотопів № 2. Середнє

значення відношення вмісту рухомої форми до вмісту кадмію в чорноземі еталонної ділянки є максимальним, проте не є критичним, простежується незначне перевищення в у шарі ґрунту (0–10; 20–50 см) на пробних ділянках: т. 4 – 0,11–0,08 рази, т. 5 – 0,98–0,73 рази, т. 6 – 0,51–0,38 рази.

Таблиця 5.4

Концентрація кадмію (рухома форма) у едафотобах урбанізованих територій екологічного профілю № 2 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисловості	Ґрунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Рухома форма Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
Правобережна центр	Металургійна, машинобудівна, хімічна	0–10	1	0,087	0,073	0,080	8,0
			2	0,082	0,078	0,080	8,0
			3	0,171	0,159	0,160	16,0
			4	0,112	0,108	0,110	11,0
			6	0,535	0,485	0,510	51,0
			5	1,065	0,895	0,980	98,0
		20–50	1	0,172	0,148	0,160	16,0
			2	0,083	0,077	0,080	8,0
			3	0,083	0,077	0,080	8,0
			4	0,081	0,079	0,080	8,0
			6	0,392	0,368	0,380	38,0
			5	0,793	0,667	0,730	73,0
		50–80	1	0,151	0,129	0,140	14,0
			2	0,082	0,078	0,080	8,0
			3	0,052	0,048	0,050	5,0
			4	0,061	0,059	0,060	6,0
			6	0,360	0,340	0,350	35,0
			5	0,419	0,361	0,390	39,0
		120–150	1	0,150	0,130	0,140	14,0
			2	0,081	0,079	0,080	8,0
			3	0,041	0,039	0,040	4,0
			4	0,061	0,059	0,060	6,0
			6	0,320	0,300	0,310	31,0
			5	0,382	0,378	0,380	38,0
Еталон		0–50		0,1			
ГДК (регіональний фон)				0,7			

Таблиця 5.5

Концентрація кадмію (валова форма) в едафотобах урбанізованих територій
екологічного профілю № 1 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисло- вості	Грунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Концентрація Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
Правобережна, схід	Хімічна	0–10	7	4,93	4,63	4,78	1593,3
			8	1,93	1,81	1,87	623,3
			9	4,19	3,59	3,89	1296,7
			10	3,13	2,65	2,89	963,3
			11	3,33	2,83	3,08	1026,7
		20–50	7	4,88	4,58	4,73	1576,7
			8	1,62	1,52	1,57	523,3
			9	3,13	2,71	2,92	973,3
			10	3,07	2,77	2,92	973,3
			11	3,43	2,87	3,15	1050,0
		50–80	7	4,93	4,63	4,78	1593,3
			8	1,75	1,61	1,68	560,0
			9	3,12	2,62	2,87	956,7
			10	3,03	2,53	2,78	926,7
			11	3,04	2,71	3,01	1003,3
		120–150	7	3,91	3,67	3,79	1263,3
			8	1,06	0,98	1,02	340,0
			9	3,14	2,66	2,90	966,7
			10	3,22	2,72	2,97	990,0
			11	2,86	2,46	2,66	886,7
Еталон		0–50		0,3			
ГДК (регіональний фон)				3,0			

Згідно радіальних особливостей розподілу вмісту кадмію у валовій формі в едафотобах урбанізованих територій даний ландшафт можна охарактеризувати як невиразний для пробної ділянки (т. 7, 9), оскільки фіксується поступове зменшення вмісту Cd по ґрунтовому горизонту та гумусо-елювіальний для пробної ділянки (т. 11) – максимальний вміст металу відмічено в горизонті 0–50 см. Показовим є відсоткове значення кількості кадмію в ґрунтах пробних ділянок до вмісту елементу в чорноземі

еталонної ділянки, оскільки саме для цих точок демонструється перевищення вмісту валової форми Cd в 15,93 (т. 7), 12,97 (т. 9) і 10,5 (т. 11) рази, відповідно.

Таблиця 5.6

Концентрація кадмію (рухома форма) в едафотобах урбанізованих територій екологічного профілю № 1 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисловості	Грунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Рухома форма Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
Правобережна, схід	Хімічна	0–10	7	0,095	0,085	0,090	9,0
			8	0,130	0,110	0,120	12,0
			9	0,343	0,337	0,340	34,0
			10	0,450	0,380	0,415	41,5
			11	0,261	0,238	0,240	24,0
		20–50	7	0,082	0,078	0,080	8,0
			8	0,105	0,095	0,100	10,0
			9	0,309	0,271	0,290	29,0
			10	0,218	0,182	0,200	20,0
			11	0,219	0,181	0,200	20,0
		50–80	7	0,073	0,067	0,070	7,0
			8	0,106	0,094	0,100	10,0
			9	0,149	0,131	0,140	14,0
			10	0,195	0,165	0,180	18,0
			11	0,192	0,168	0,180	18,0
		120–150	7	0,081	0,079	0,080	8,0
			8	0,064	0,056	0,060	6,0
			9	0,139	0,121	0,130	13,0
			10	0,182	0,158	0,170	17,0
			11	0,189	0,171	0,180	18,0
Еталон		0–50		0,1			
ГДК (регіональний фон)				0,7			

Стосовно вмісту рухомої форми кадмію – перевищення ГДК, за нашими дослідженнями, не зафіксовано, але спостерігається явне перевищення середнього

значення порівняно з фоновою ділянкою майже вдвічі в точках 10 та 11 по всьому ґрунтовому профілю (0–150 см). Даний екологічний профіль розташований між підприємствами хімічної промисловості – ПрАТ «Євраз Південкокс», ПрАТ «ДКХЗ», АТ «ДніпроАЗОТ», ТОВ «Спецтехоснастка» (виробництво штампів та виробів із пластику, пластикове пакування для підприємств харчової та лакофарбової промисловості), ДП «Смоли» (виробництво іонообмінних смол та гербіцидів). У розподілі металу в даному випадку відіграють роль роза вітрів та зміна висотних позначок міста. Так, потрібно відмітити, що точка 7 характеризується найвищою альтитудою в даному екологічному профілі – 174 м, найнижчою є точка 11–81 м. Більш показовим є відсоткове значення до вмісту кадмію в чорноземі еталонної ділянки, цей показник сягає максимальних значень у пробних ділянках (точках) 9 і 10 і становить 340 і 420 % відповідно.

Таблиця 5.7

Концентрація кадмію (валова форми) в едафотобах урбанізованих територій екологічного профілю № 3 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисловості	Ґрунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Концентрація Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
1	2	3	4	5	6	7	8
Правобережна захід		0–10	12	1,50	1,40	1,45	483,3
			13	1,61	1,51	1,56	520,0
			14	2,02	1,92	1,97	656,7
			15	2,79	2,73	2,76	920,0
			16	2,27	2,17	2,22	740,0
			17	3,93	3,57	3,78	1260,0
			18	1,17	1,07	1,12	373,3

продовження таблиці 5.5

	2	3	4	5	6	7	8		
Правобережна, захід	Будівельні матеріали	20–50	12	1,47	1,39	1,43	476,7		
			13	1,66	1,60	1,63	543,3		
			14	1,81	1,71	1,76	586,7		
			15	2,58	2,50	2,54	846,7		
			16	2,20	2,14	2,17	723,3		
			17	3,92	3,56	3,74	1246,7		
			18	1,18	1,00	1,09	363,3		
		50–80	12	1,42	1,32	1,37	456,7		
			13	1,56	1,52	1,54	513,3		
			14	1,83	1,73	1,78	593,3		
			15	2,05	1,99	2,02	673,3		
			16	2,15	2,11	2,13	710,0		
			17	3,65	3,25	3,45	1150,0		
			18	0,88	0,86	0,87	290,0		
		120–150	12	1,15	1,01	1,08	360,0		
			13	1,47	1,39	1,43	476,7		
			14	1,75	1,65	1,70	566,7		
			15	2,02	1,94	1,98	660,0		
			16	2,01	1,99	2,00	666,7		
			17	2,95	2,65	2,80	933,3		
			18	0,90	0,88	0,89	296,7		
		Еталон		0–50		0,3			
		ГДК (регіональний фон)				3,0			

Аналіз одержаних результатів вмісту валової та рухомої форм кадмію в едафотопях урбанізованих територій екологічного профілю № 3 західної частини міста Кам'янське свідчить про незначне перевищення ГДК – в 1,26 рази у максимальному значенні тільки в точці 17, а в середньому – знаходиться в межах значення регіонального фону. Максимальне значення концентрації Cd в точці 17 селитебної підсистеми міста можна пояснити зоною впливу ПАО «Хайдельбергцемент Україна» та кліматичними особливостями і рельєфом – достатньо широкий діапазон альтитуд пробних ділянок – 178–58 м – латеральний розподіл вмісту Cd свідчить про висхідний вид структури ландшафту. Перевищення середніх значень по відношенню до еталонних ґрунтів відмічається в середньому в 12,5 рази в точці 17 екологічного профілю едафотопів урбанізованих територій .

Таблиця 5.8

Концентрація кадмію (рухома форми) в едафотопях урбанізованих територій екологічного профілю № 3 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисловості	Грунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Рухома форма Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
Правобережна, схід	Будівельні матеріали	0–10	12	0,127	0,113	0,120	12,0
			13	0,103	0,097	0,100	10,0
			14	0,103	0,097	0,100	10,0
			15	0,052	0,048	0,050	5,0
			16	0,072	0,068	0,070	7,0
			17	0,255	0,225	0,240	24,0
			18	0,021	0,019	0,020	2,0
		20–50	12	0,095	0,085	0,090	9,0
			13	0,072	0,068	0,070	7,0
			14	0,084	0,076	0,080	8,0
			15	0,083	0,077	0,080	8,0
			16	0,083	0,077	0,080	8,0
			17	0,211	0,189	0,200	20,0
			18	0,011	0,009	0,010	1,0
		50–80	12	0,094	0,086	0,090	9,0
			13	0,071	0,069	0,070	7,0
			14	0,081	0,079	0,080	8,0
			15	0,082	0,078	0,080	8,0
			16	0,052	0,048	0,050	5,0
			17	0,192	0,168	0,180	18,0
			18	0,011	0,009	0,010	1,0
		120–150	12	0,061	0,059	0,060	6,0
			13	0,061	0,059	0,060	6,0
			14	0,061	0,059	0,060	6,0
			15	0,061	0,059	0,060	6,0
			16	0,031	0,029	0,030	3,0
			17	0,195	0,165	0,180	18,0
			18	0,021	0,019	0,020	2,0
Еталон		0–50		0,1			
ГДК (регіональний фон)				0,7			

Вміст кадмію (рухома форма) в едафотопях дослідних ділянок не перевищує допустимі нормативи (ГДК та значення регіонального фону). Дані пробної ділянки 17, в

якій спостерігається перевищення концентрації Cd майже вдвічі у порівнянні з еталонним значенням.

Таблиця 5.9

Концентрація кадмію (валова форма) в едафотобах урбанізованих територій екологічного профілю № 4 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисловості	Грунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Концентрація Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
Правобережна захід	Металургійна, будівельні матеріали	0–10	19	1,87	1,83	1,85	616,7
			20	2,00	1,96	1,98	660,0
			21	2,04	1,74	1,89	630,0
			22	3,19	2,83	3,01	1003,3
			23	2,92	2,42	2,67	890,0
			24	1,81	1,75	1,78	593,3
		20–50	19	1,84	1,82	1,83	610,0
			20	1,89	1,83	1,86	620,0
			21	1,88	1,64	1,76	586,7
			22	3,04	2,74	2,89	963,3
			23	2,65	2,25	2,45	816,7
			24	1,79	1,73	1,76	586,7
		50–80	19	1,80	1,78	1,79	896,7
			20	1,66	1,64	1,65	550,0
			21	1,80	1,54	1,67	556,7
			22	2,74	2,44	2,59	863,3
			23	2,60	2,18	2,39	796,7
			24	1,61	1,51	1,56	520,0
		120–150	19	1,81	1,79	1,80	600,0
			20	1,68	1,66	1,67	556,7
			21	1,17	1,01	1,09	363,3
			22	2,48	2,16	2,32	773,3
			23	2,30	1,94	2,12	706,7
			24	1,47	1,39	1,43	476,7
Еталон		0–50		0,3			
ГДК (регіональний фон)				3,0			

Аналіз табличних даних демонструє вміст кадмію на рівні ГДК та регіонального фону у максимальному значенні у ґрунтовому горизонті 0–10 см у точці 22. Це

пояснюється близьким розташуванням даних пробних ділянок до підприємств: ТОВ «Піраміда» (виробництво залізобетонних та бетонних конструкцій і виробів) та НВО ТОВ «Дніпрофмаш» (прокатне виробництва). У ґрунтах пробної ділянки т. 22 відмічається перевищення середнього вмісту кадмію валової форми над еталонним зразком в 10 разів.

Таблиця 5.10

Концентрація кадмію (рухома форма) в едафотобах урбанізованих територій екологічного профілю № 4 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисловості	Ґрунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Рухома форма Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
Правобережна захід	Металургійна, будівельні матеріали	0–10	19	0,131	0,109	0,120	12,0
			20	0,103	0,097	0,100	10,0
			21	0,123	0,117	0,120	12,0
			22	0,161	0,159	0,160	16,0
			23	0,212	0,208	0,210	21,0
			24	0,581	0,519	0,550	55,0
		20–50	19	0,109	0,091	0,100	10,0
			20	0,092	0,088	0,090	9,0
			21	0,105	0,095	0,100	10,0
			22	0,083	0,077	0,080	8,0
			23	0,083	0,077	0,080	8,0
			24	0,425	0,375	0,400	40,0
		50–80	19	0,106	0,094	0,100	10,0
			20	0,062	0,058	0,060	6,0
			21	0,104	0,096	0,100	10,0
			22	0,052	0,048	0,050	5,0
			23	0,022	0,018	0,020	2,0
			24	0,149	0,381	0,400	40,0
		120–150	19	0,063	0,057	0,060	6,0
			20	0,061	0,059	0,060	6,0
			21	0,061	0,059	0,060	6,0
			22	0,071	0,069	0,070	7,0
			23	0,021	0,019	0,020	2,0
			24	0,628	0,572	0,600	60,0
Еталон		0–50		0,1			
ГДК (регіональний фон)				0,7			

На вміст рухомої форми кадмію впливає наближеність даних дослідних ділянок до підприємств визначених галузей промисловості та комплекс географічних умов – роза вітрів й альтитуда місцевості – точки 22 та 23 розташовані на висоті 102 та 81 м, відповідно. Латеральна характеристика даного ландшафту – висхідна або асцендіальна (збільшення вмісту кадмію до зниження рельєфу).

Таблиця 5.11

Концентрація кадмію (валова форма) в едафотобах урбанізованих територій екологічного профілю № 5 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисловості	Ґрунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Концентрація Cd, мг/кг ґрунту			
				max	min	C	% до еталону
Лівобережна	Відсутня	0–10	25	0,96	0,86	0,91	303,3
			26	0,59	0,55	0,57	190,0
			27	0,63	0,59	0,61	203,3
			28	1,16	1,06	1,11	370,0
			29	0,88	0,78	0,83	276,7
		20–50	25	1,06	0,90	0,98	326,7
			26	0,51	0,47	0,49	163,3
			27	0,53	0,49	0,51	170,0
			28	1,11	1,01	1,06	353,3
			29	0,88	0,72	0,80	266,7
		50–80	25	0,76	0,66	0,71	236,7
			26	0,52	0,48	0,50	166,7
			27	0,52	0,48	0,50	166,7
			28	1,05	0,97	1,01	336,7
			29	0,78	0,68	0,73	243,3
		120–150	25	0,66	0,60	0,63	210,0
			26	0,45	0,39	0,42	140,0
			27	0,55	0,49	0,52	173,3
			28	1,04	0,96	1,00	333,3
			29	0,71	0,65	0,68	226,7
Еталон		0–50		0,3			
ГДК (регіональний фон)				3,0			

Таблиця 5.12

Концентрація кадмію (рухома форма) в едафотопях урбанізованих територій
екологічного профілю № 5 м. Кам'янське

Частина міста, географічне положення урбанізованих територій	Галузь промисло- вості	Грунтовий горизонт, см	Урбанізовані території (пробні ділянки)	Рухома форма Cd, мг/кг грунту			
				max	min	C	% до еталону
Лівобережна	Відсутня	0–10	25	0,031	0,029	0,030	3,0
			26	0,086	0,074	0,080	8,0
			27	0,094	0,086	0,090	9,0
			28	0,042	0,038	0,040	4,0
			29	0,389	0,351	0,370	37,0
		20–50	25	0,032	0,028	0,030	3,0
			26	0,085	0,075	0,080	8,0
			27	0,086	0,074	0,080	8,0
			28	0,041	0,039	0,040	4,0
			29	0,380	0,340	0,360	36,0
		50–80	25	0,361	0,319	0,340	34,0
			26	0,054	0,046	0,050	5,0
			27	0,056	0,044	0,050	5,0
			28	0,031	0,029	0,030	3,0
			29	0,361	0,319	0,340	34,0
		120–150	25	0,259	0,221	0,240	24,0
			26	0,063	0,057	0,060	6,0
			27	0,053	0,047	0,050	5,0
			28	0,031	0,029	0,030	3,0
			29	0,369	0,311	0,340	34,0
Еталон		0–50		0,1			
ГДК (регіональний фон)				0,7			

Аналіз та узагальнення отриманих даних дозволяє зробити висновок, що, перевищень нормативних показників вмісту кадмію валової та рухомої форм не фіксується в жодному з генетичних горизонтів усіх дослідних ділянок екологічного профілю едафотопів № 5. Відсутність перевищення вмісту пояснюється морфологічною характеристикою ґрунтів даної місцевості – піщані намивні. Дані

грунти штучно створені в 50-х роках ХХ століття під час будівництва житлових масивів для розбудови міста. З історії створення житлового масиву, зрозуміло, що він закладався як селитебна та рекреаційна зона міста зі значною віддаленістю від комплексу промислових підприємств. Середнє значення вмісту валової та рухомої форм Cd до вмісту в еталонному зразку перевищує в 3,7 рази в т. 28, максимальне значення для шару ґрунту 0–10 см.

Особливості латерального розподілу вмісту кадмію в досліджуваних екологічних профілях едафотопів урбанізованих (рис. 5.1).

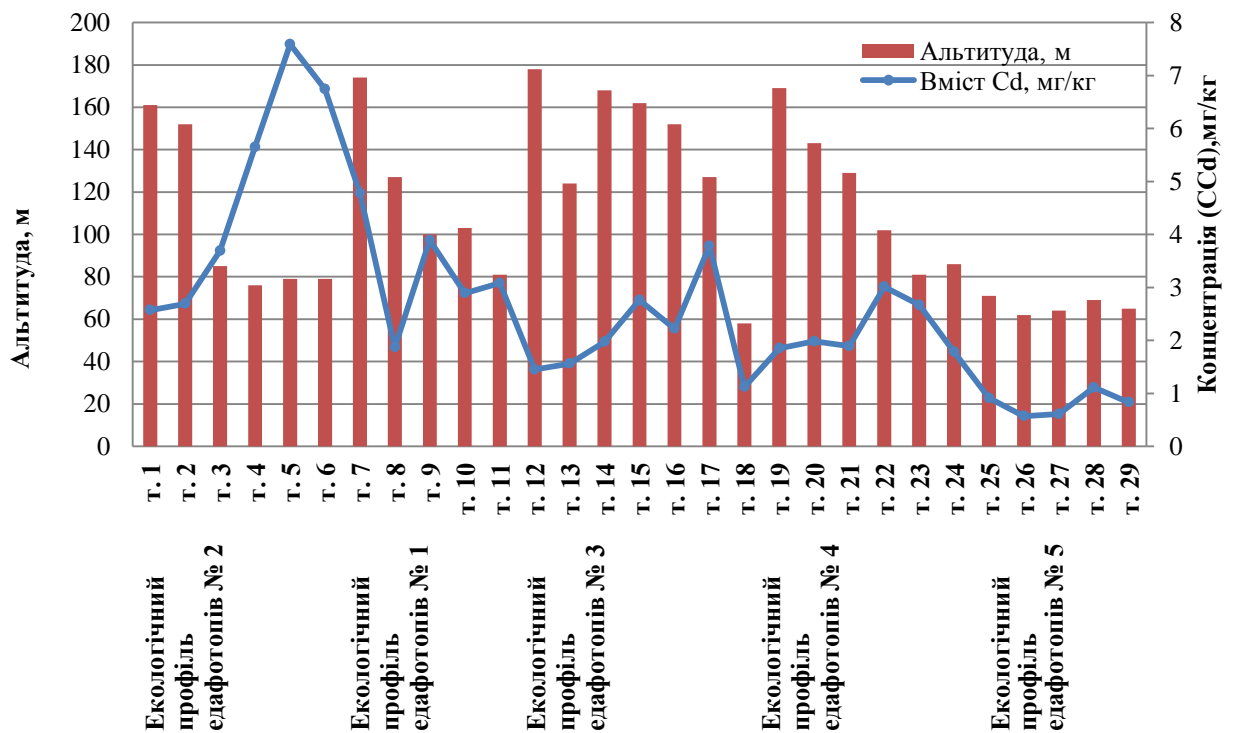


Рис. 5.1. Латеральний розподіл вмісту Cd (валова форма) в екологічних профілях едафотопів урбанізованих територій міста

Кожний екологічний профіль докладно проаналізовано за латеральним розподілом та доведено взаємозв'язок вмісту кадмію (валової форми) в залежності від зміни рельєфу місцевості.

Екологічний профіль № 2: висхідний (асцендіальний):

т. 1 – $C_{Cd}^{вал.}$ (2,57 ± 0,25 мг/кг) – альтитуда (161 м) → т. 2 – $C_{Cd}^{вал.}$ (2,69 ± 0,27 мг/кг) – альтитуда (152 м) → т. 3 – $C_{Cd}^{вал.}$ (3,69 ± 0,35 мг/кг) – альтитуда (85 м) → т. 4 –

$C_{Cd}^{вал.}(5,65 \pm 0,54 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (76 м) \rightarrow т. 5 – $C_{Cd}^{вал.}(7,59 \pm 0,62 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (79 м) \rightarrow т. 6 – $C_{Cd}^{вал.}(6,74 \pm 0,52 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (79 м).

Екологічний профіль № 1: спадна (дисцендіальна) тенденція:

т. 7 – $C_{Cd}^{вал.}(4,78 \pm 0,15 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (174 м) \rightarrow т. 8 – $C_{Cd}^{вал.}(1,87 \pm 0,06 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (127 м) \rightarrow т.9 – $C_{Cd}^{вал.}(3,89 \pm 0,30 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (100 м) \rightarrow т.10 – $C_{Cd}^{вал.}(2,89 \pm 0,24 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (103 м) \rightarrow т.11 – $C_{Cd}^{вал.}(3,08 \pm 0,25 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (81 м).

Екологічний профіль № 3: пікоподібна структура:

т. 12 – $C_{Cd}^{вал.}(1,45 \pm 0,05 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (178 м) \rightarrow т. 13 – $C_{Cd}^{вал.}(1,56 \pm 0,05 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (124 м) \rightarrow т. 14 – $C_{Cd}^{вал.}(1,97 \pm 0,05 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (168 м) \rightarrow т.15 – $C_{Cd}^{вал.}(2,76 \pm 0,03 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (162 м) \rightarrow т. 16 – $C_{Cd}^{вал.}(2,22 \pm 0,05 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (152 м) \rightarrow т.17 – $C_{Cd}^{вал.}(3,78 \pm 0,43 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (127 м) \rightarrow т.18 – $C_{Cd}^{вал.}(1,12 \pm 0,05 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (58 м).

Екологічний профіль № 4: пікоподібна структура:

т. 19 – $C_{Cd}^{вал.}(1,85 \pm 0,02 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (169 м) \rightarrow т. 20 – $C_{Cd}^{вал.}(1,98 \pm 0,02 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (143 м) \rightarrow т. 21 – $C_{Cd}^{вал.}(1,89 \pm 0,15 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (129 м) \rightarrow т.22 – $C_{Cd}^{вал.}(3,01 \pm 0,25 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (102 м) \rightarrow т. 23 – $C_{Cd}^{вал.}(2,67 \pm 0,25 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (81 м) \rightarrow т. 24 – $C_{Cd}^{вал.}(1,78 \pm 0,03 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (86 м).

Екологічний профіль № 5: рівномірна структура:

т.25 – $C_{Cd}^{вал.}(0,91 \pm 0,05 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (71 м) \rightarrow т. 26 – $C_{Cd}^{вал.}(0,57 \pm 0,02 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (62 м) \rightarrow т. 27 – $C_{Cd}^{вал.}(0,61 \pm 0,02 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (64 м) \rightarrow т. 28 – $C_{Cd}^{вал.}(1,11 \pm 0,05 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (69 м) \rightarrow т. 29 – $C_{Cd}^{вал.}(0,83 \pm 0,05 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (65 м).

Представлені значення (табл. 5.13) узагальнюють отримані результати попередніх досліджень вмісту валових та рухомих форм кадмію в генетичних горизонтах основних типів ґрунтів урбанізованих територій м. Кам'янське та еталонної ділянки – чорнозему звичайного різнотравно-кострицево-ковилевого степу Присамар'я Дніпровського.

Таблиця 5.13

Загальний вміст кадмію в едафотобах 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
Чорнозем звичайний еталонної ділянки різнотравно-кострицево- ковилевого степу Присамар'я Дніпровського	<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

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.

Отримані інформаційні показники валової форми Cd демонструють найбільший середній вміст у плантоземах по всій правобережній частині міста (захід – $5,53 \pm 0,35$; центр – $7,58 \pm 0,62$; схід – $6,54 \pm 0,42$ мг/кг ґрунту відповідно). Показники концентрації валової форми кадмію у власне урбаноземах і природних порушених ґрунтах правобережної частини м. Кам'янське аналогічні та варіюють у межах від $1,02 \pm 0,08$ – $1,86 \pm 0,15$ до $1,32 \pm 0,07$ – $1,57 \pm 0,15$ мг/кг ґрунту, відповідно. Аналіз вмісту валової форми Cd в едафотобах лівобережної частини міста виявляє найменші значення, порівняно зі значеннями вмісту кадмію в

едафотопях урбанізованих територій правобережної частини Кам'янського, знаходяться в межах $0,62 \pm 0,02$ (захід) – $1,11 \pm 0,05$ (центр) мг/кг ґрунту, відповідно.

Вмісту рухомої форми досліджуваного важкого металу в едафотопях урбанізованих територій правобережної частини м. Кам'янське демонструє наступні показники: у плантоземах – $2,71 \pm 0,06$ (центр) – $0,98 \pm 0,07$ (захід) мг/кг ґрунту. Власне урбаноземи відрізняються досить широким діапазоном варіювання вмісту рухомої форми кадмію: від $0,29 \pm 0,02$ (захід) до $1,1 \pm 0,01$ (центр) мг/кг ґрунту. Природні порушені ґрунти за вмістом рухомої форми Cd характеризуються досить схожими показниками: $0,57 \pm 0,04$ (схід) і $0,63 \pm 0,05$ (захід) мг/кг ґрунту в правобережній частині міста. Ґрунти лівобережної частини міста представлені рістоземами, вміст кадмію рухомої форми, у яких складає $0,11 \pm 0,01$ (захід) і $0,49 \pm 0,02$ (центр) мг/кг ґрунту.

Вміст як валової, так і рухомої форм важкого металу у всіх досліджених типах ґрунтів урбанізованих територій м. Кам'янське перевищують концентрацію в еталонній ділянці – чорнозем звичайний різнотравно-кострицево-ковилевого степу Присамар'я Дніпровського. Отримані результати демонструють як однаковий зональний тип ґрунтів міських територій та еталонної ділянки – чорнозем звичайний, змінюється в умовах урбанізованого середовища за дії антропогенно-техногенного пресу.

В якості статистичного аналізу отриманих результатів застосували середньоквадратичне відхилення ($\sigma \leq 10\%$). Оскільки цей показник надає абсолютну оцінку міри розсіювання значень змінних навколо середнього, для розуміння її величини, відносно самих значень, застосовуємо відносний показник – коефіцієнт варіації (V). Відомо [80] чим однорідніша за розмахом варіювання досліджувана ознака, тим меншим буде коефіцієнт варіації в даній сукупності; відповідно меншими будуть значення середнього квадратичного відхилення. За розмахом варіювання виділяється 5 груп коефіцієнтів варіації. Якщо $V=0-10\%$, варіювання вважається малим, при $V=10-30\%$ – середнім, за $V=30-60\%$ – високим, $V=60-100\%$ – дуже високим, якщо $V>100\%$ – аномальним.

Коефіцієнт варіації вмісту валової форми кадмію у власне урбаноземах $V_{Cd}^{вал.} = 7,88 \%$, рухомої $V_{Cd}^{рух.} = 5,23\%$, у природних порушених ґрунтах $V_{Cd}^{вал.} = 7,61 \%$, рухомої $V_{Cd}^{рух.} = 7,86\%$, у рістоземах $V_{Cd}^{вал.} = 5,05 \%$, рухомої $V_{Cd}^{рух.} = 4,25\%$, згідно груп коефіцієнтів варіації – варіювання вважається малим. Статистичний аналіз результатів загального вмісту рухомої та валової форми у плантоземах показав $V_{Cd}^{вал.} = 20,93 \%$, рухомої $V_{Cd}^{рух.} = 15,47 \%$, середнє варіювання. У ґрунтах еталонної ділянки коефіцієнт варіації складає $V_{Cd}^{вал.} = 3,33 \%$, рухомої $V_{Cd}^{рух.} = 10,0 \%$, варіювання вважається малим.

5.2. Показники рухомості кадмію в едафотопях м. Кам'янське як один із факторів закономірностей його розподілу

Актуальним напрямком у дослідженнях забрудненням ґрунтів важкими металами є вивчення їх рухомих форм [55, 56, 108]. В науковій літературі [78, 142] немає конкретного визначення терміну «рухомі форми». Більшість авторів під цим терміном поєднують усі форми елементів, що переходять в будь-яку витяжку – водну, сольову, розбавлені сильні мінеральні та слабкі органічні кислоти, луґи, розчини комплексонів. В результаті досліджень [56] встановлено, що на територіях, які зазнають техногенних навантажень прослідковується тенденція, збільшення не тільки валового вмісту досліджуваних важких металів, але й різке підвищення рухомості. Це свідчить про постійне надходження полютантів до ґрунту в різних формах, а також може бути опосередкованим доведенням активізації процесу самоочищення ландшафту.

Для доповнення характеристики закономірностей розподілу кадмію в едафотопях урбанізованих територій м. Кам'янське нами було визначено показник вмісту рухомих форм, виражений у відсотках від валового, представленого у вигляді формули 5.1: (табл. 5.14).

$$\text{Показник рухомості}_{Cd} = \frac{C_{\text{рухомої форми } Cd}}{C_{\text{валової форми } Cd}} \cdot 100 \% \quad (5.1)$$

Таблиця 5.14

Інформаційні показники рухомості кадмію в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське, %

Тип ґрунтів	Захід	Центр	Схід
	Правобережна частина		
Власне урбаноземи	28,15	59,14	73,53
Плантоземи	17,72	35,75	29,96
Природні порушені	41,30	36,94	47,72
Лівобережна частина			
Рістоземи	17,74	44,14	43,21
Чорнозем звичайний фонової ділянки різнотравно-кострицево- ковилевого степу Присамар'я Дніпровського	33,33		

Показники рухомості кадмію у ґрунтах м. Кам'янське варіюють в діапазоні від 17,72 до 73,53 %. Максимальні значення показника рухомості відмічено (73,53 та 59,14 %) у власне урбаноземах сходу та центру правобережної частини міста, відповідно. Мінімальне значення показника рухомості кадмію (17,72 %) у ґрунтах зафіксовано у плантоземах заходу правобережної частини Кам'янського. Отримані дані, ймовірно, пояснюється наявністю геохімічного бар'єру антропо-техногенного походження. Відомо, що найбільший вміст та закріплення кадмію спостерігається у чорноземах, в першу чергу за рахунок високої ефективності гумусових геохімічних бар'єрів. Кадмій, як халькофільний елемент, особливо інтенсивно концентрується на сірководному ґрунтовому бар'єрі (як результат викидів сполук забруднюючих речовин підприємств коксохімічного виробництва). Це дає змогу припущення

існування комплексного геохімічного бар'єру – ділянки, де в конкретних умовах проявляється декілька геохімічних бар'єрів, що накладаються один на одного.

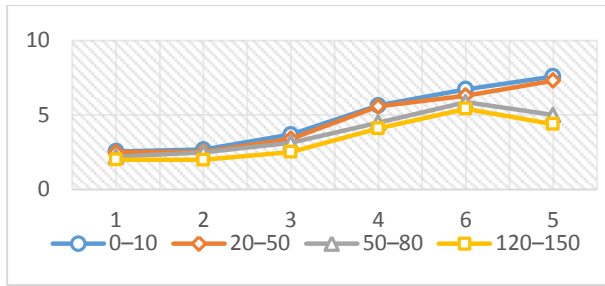
За визначенням Перельмана [99] техногенний геохімічний бар'єр – це ділянка ноосфери, де відбувається різке зниження інтенсивності техногенної міграції і, як наслідок, – концентрація хімічних елементів. Техногенні бар'єри утворюються лише в результаті антропо-техногенних змін умов міграції. Все це дає змогу припускати наявність локальних техногенних позитивних геохімічних аномалій кадмію, тобто ділянок підвищеного його вмісту (відносно ГДК/регіонального фону), що утворюються в результаті виробничої діяльності людини. Такі техногенні аномалії пов'язані з конкретними джерелами забруднення, що підтверджується нашими дослідженнями. Їх радіус не перевищує декількох десятків кілометрів (в промисловому м. Кам'янське наявні декілька подібних джерел-забруднювачів).

Простір, який займає локальна техногенна геохімічна аномалія – техногенний ореол розсіювання, має місце в антропо-техногенних урбанізованих територіях міста. Показник рухомості кадмію у чорноземі звичайному еталонної ділянки складає 33,3 %, що є середнім значенням.

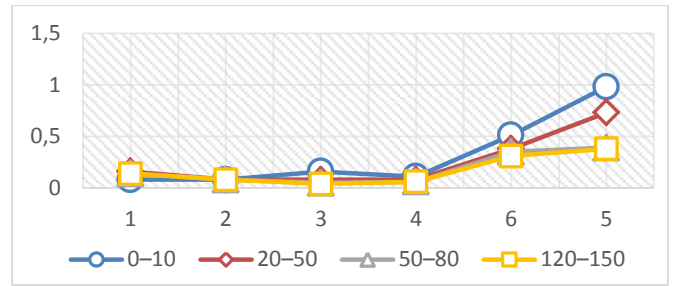
У техносфері наявні всі види міграції: фізико-хімічна, механічна, біогеохімічна, але домінує техногенна міграція елементів. За своїми масштабами процеси техногенезу перевищують природні. Техногенні тренди частково підсилюють природні частіше привносять цілковито нові тенденції в перетворення біосфери [103].

5.3. Розподіл концентрацій валових та рухомих форм кадмію в едафотопях м. Кам'янське

Для візуалізації конкретних даних вмісту валової та рухомих форм кадмію представлено гістограми (рис. 5.1), які демонструють наведені вище результати досліджень. Отримані конкретні дані демонструють неоднорідність концентрації та розподілу кадмію в екологічних профілях едафотопів урбанізованих територій міста Кам'янське.

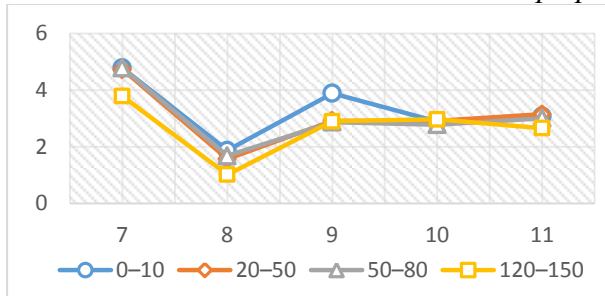


валова форма

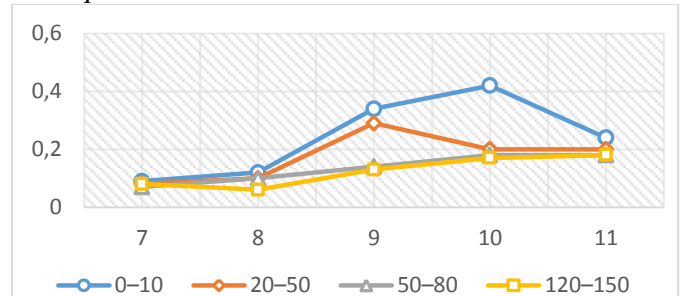


рухома форма

екологічний профіль № 2: пробні ділянки 1 – 6

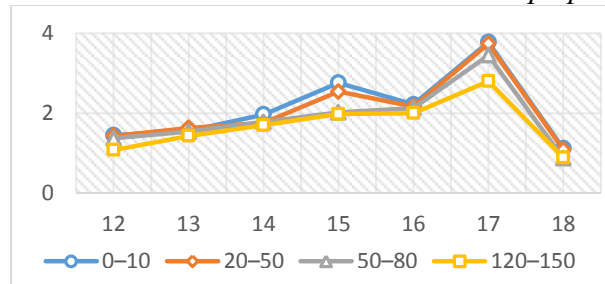


валова форма

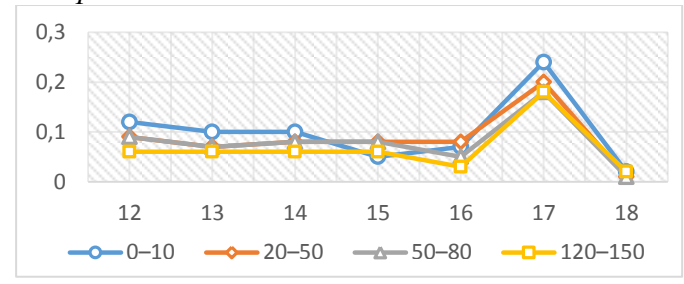


рухома форма

екологічний профіль № 1: пробні ділянки 7 – 11

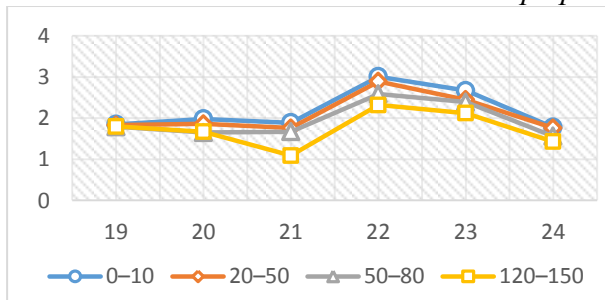


валова форма

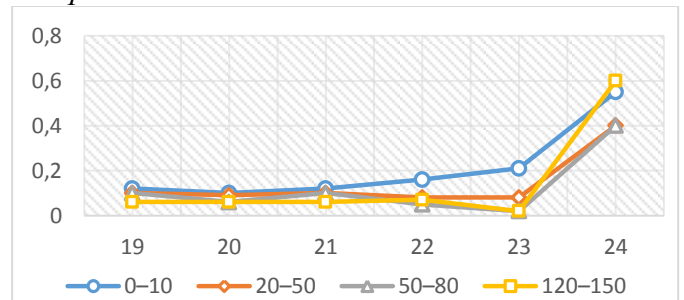


рухома форма

екологічний профіль № 3: пробні ділянки 12 – 18

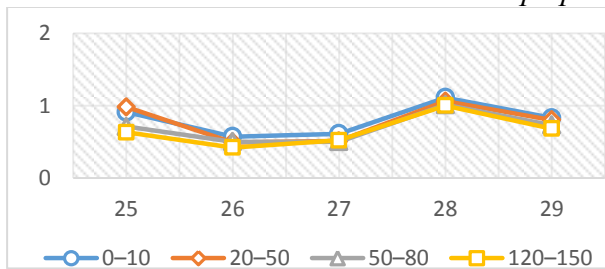


валова форма

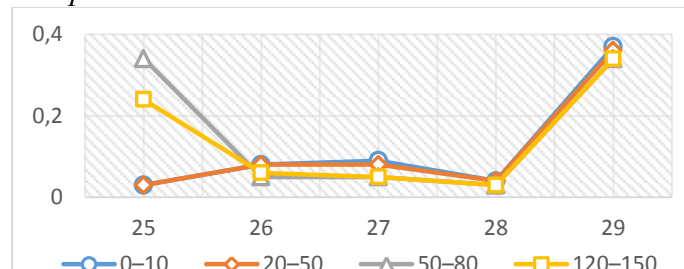


рухома форма

екологічний профіль № 4: пробні ділянки 19 – 24



валова форма



рухома форма

екологічний профіль № 5: пробні ділянки 25 – 29

Рис. 5.2. Розподіл валової та рухомої форм Cd у екологічних профілях 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. Рістоземи 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 намивні 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.

5.4. Варіювання вмісту кадмію у ґрунтах м. Кам'янське

Інтервали варіювання [165] вмісту кадмію (валова та рухома форми) графічно представлено (рис. 5.3–5.5) для всіх досліджуваних екологічних профілів едафотопів ґрунтового профілю глибиною 150 см.

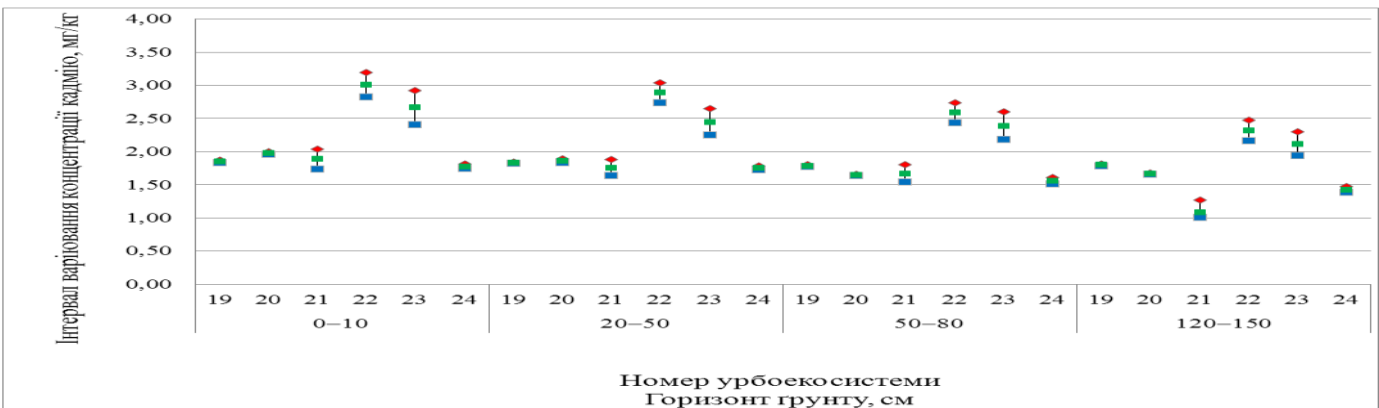
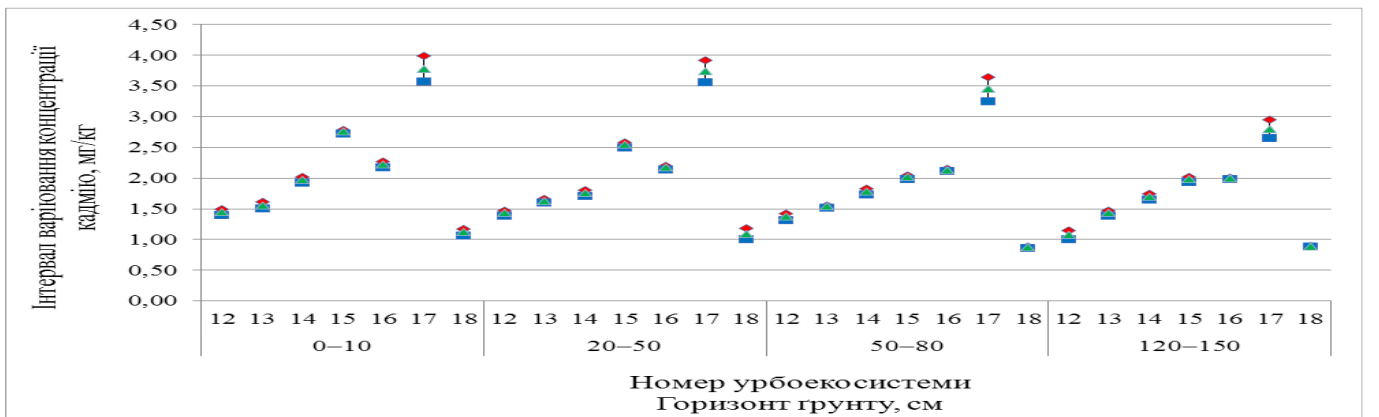
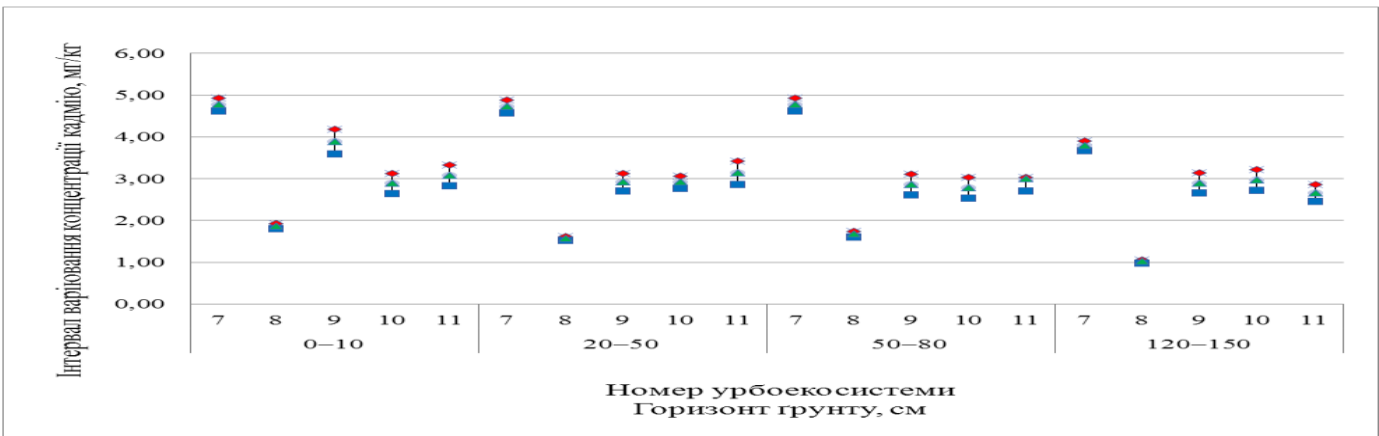
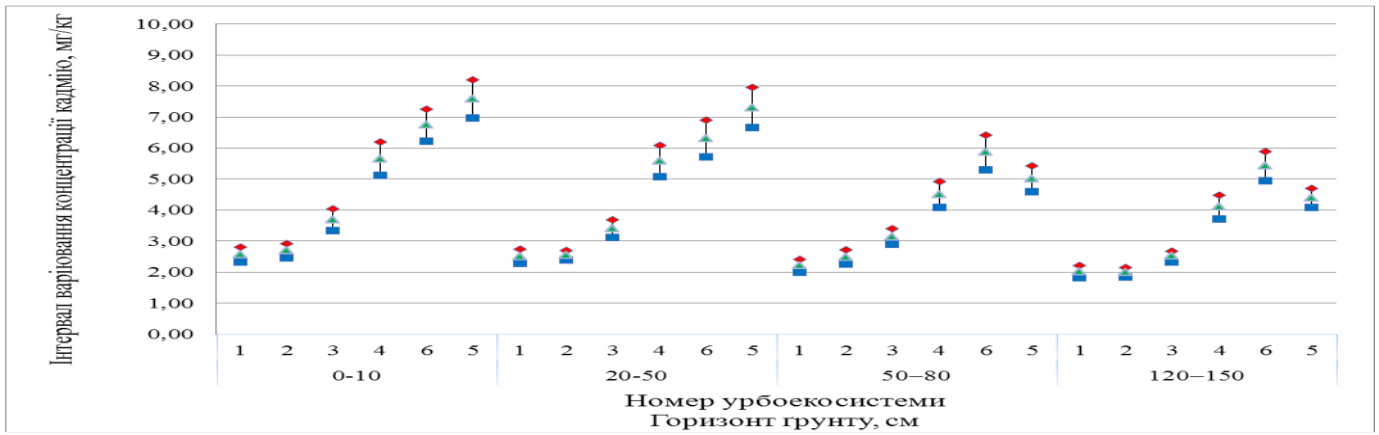


Рис. 5.3. Інтервал варіювання концентрації валових форм кадмію в едафотопях екологічних профілів правобережної частини м. Кам'янське (n=7; $\bar{x} \pm SE$) профіль № 2 – т. 1–6, профіль № 1 – т. 7–11, профіль № 3 – т. 12–18, профіль № 4 – т. 19–24

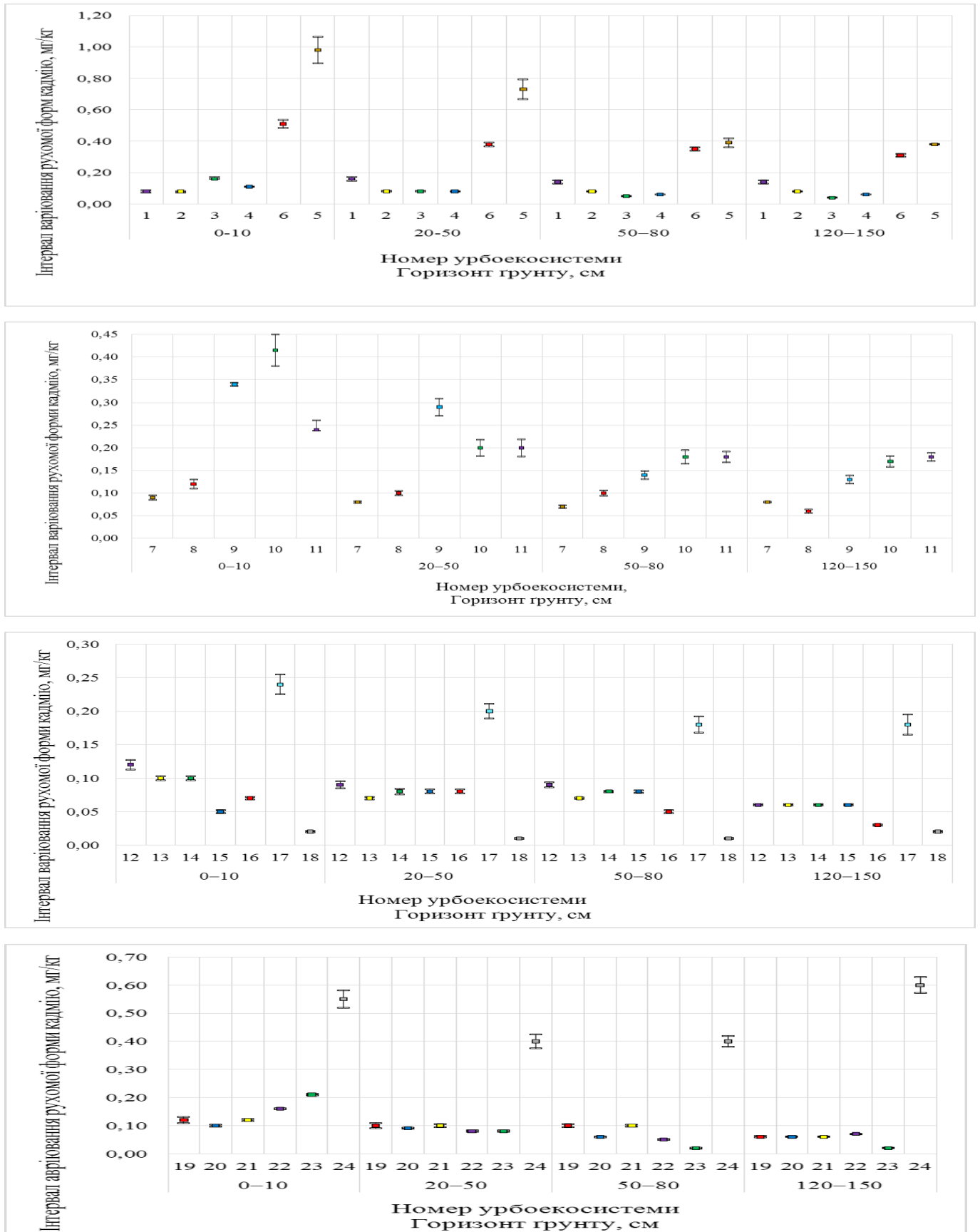


Рис. 5.4. Інтервал варіювання концентрації рухомої форми кадмію в едафотопях Екологічних профілів правобережної частини м. Кам'янське (n=7; $\bar{x} \pm SE$) профіль № 2 – т. 1–6, профіль № 1 – т. 7–11, профіль № 3 – т. 12–18, профіль № 4 – т. 19–24

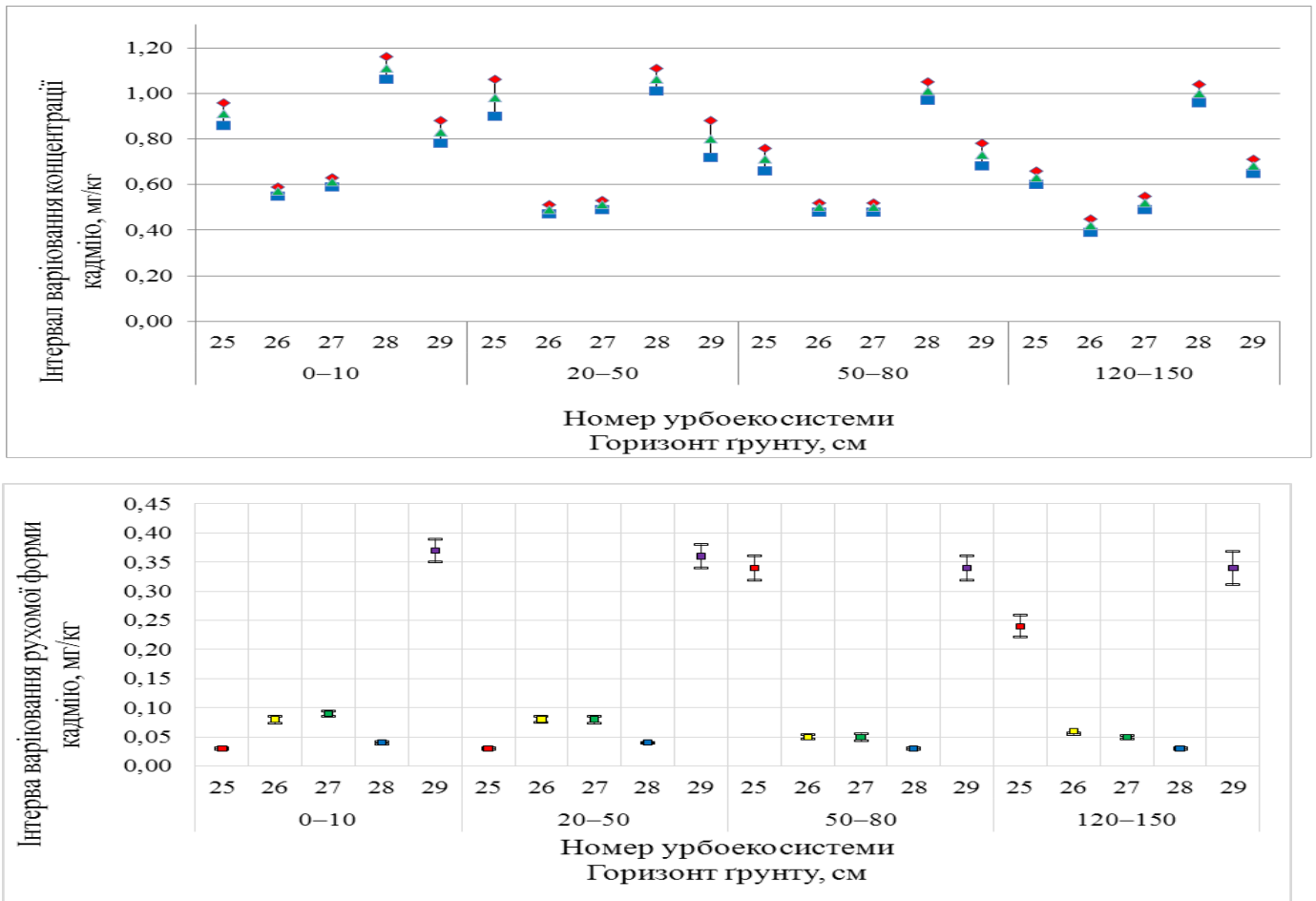


Рис. 5.5 Інтервал варіювання концентрації валових і рухомих форм кадмію в едафотопях Екологічного профілю лівобережної частини м. Кам'янське (n=7; $\bar{x} \pm SE$) профіль № 5 – 25–29

Найвищі концентрації вмісту кадмію відмічені для екологічного профілю едафотопів № 2 – пробні ділянки 1–6, зокрема для корененасиченого ґрунтового горизонту (до 50 см), що, ймовірно, свідчить про техногенний вплив і сприяє надходженню кадмію у ґрунти урбанізованих територій міста.

Проаналізуємо інтервали варіювання валової і рухомої форм кадмію у едафотопях екологічних профілів №1–4 правобережної частини міста. По інтервалу варіювання вмісту мікроелементу екологічного профілю едафотопів № 2 (т. 1–6) можна прослідкувати наступну тенденцію: зменшення концентрації валової і рухомої форм Cd зі збільшенням глибини горизонту, тобто максимальні значення концентрації важкого металу, за нашими дослідженнями, спостерігаються у корененасиченому шарі ґрунту (0–10 см) і варіюють в межах $2,57 \pm 0,25$ – $2,69 \pm 0,27$ мг/кг ґрунту (мінімальні значення) та $6,74 \pm 0,52$ – $7,59 \pm 0,62$ мг/кг ґрунту

(максимальні значення) валової форми; стосовно рухомої форми простежується аналогічна тенденція $0,08 \pm 0,007$ – $0,08 \pm 0,002$ мг/кг ґрунту (мінімальні значення) та $0,51 \pm 0,025$ – $0,98 \pm 0,0085$ мг/кг ґрунту (максимальні значення).

Інтервал варіювання концентрації валових і рухомих форм Cd (шар ґрунту 0–50 см) екологічного профілю едафотопів № 1 лежить в межах $1,87 \pm 0,06$ – $1,57 \pm 0,05$ мг/кг ґрунту (мінімальні значення) та $4,78 \pm 0,15$ – $4,73 \pm 0,15$ мг/кг ґрунту (максимальні значення) валової форми. Стосовно рухомої форми відмічено зворотню латеральну тенденцію $0,09 \pm 0,005$ – $0,10 \pm 0,005$ мг/кг ґрунту (мінімальні значення) та $0,42 \pm 0,035$ – $0,34 \pm 0,003$ мг/кг ґрунту (максимальні значення).

Характер інтервалу варіювання концентрації Cd (шар ґрунту 0–50 см) екологічного профілю едафотопів № 3 валових і рухомих форм продемонстрував мінімальні значення – $1,43 \pm 0,04$ – $1,56 \pm 0,05$ мг/кг ґрунту, максимальні $2,76 \pm 0,03$ – $3,78 \pm 0,21$ мг/кг ґрунту; мінімальні значення– $0,09 \pm 0,005$ – $0,10 \pm 0,003$ мг/кг ґрунту, максимальні $0,24 \pm 0,015$ – $0,20 \pm 0,011$ мг/кг ґрунту відповідно.

Аналіз інтервалу варіювання валових і рухомих форм концентрації Cd (шар ґрунту 0–50 см) екологічного профілю едафотопів № 4 за особливостями розподілу кадмію має мінімальні значення – $1,76 \pm 0,12$ – $1,78 \pm 0,03$ мг/кг ґрунту, максимальні $3,01 \pm 0,18$ – $2,67 \pm 0,25$ мг/кг ґрунту; мінімальні значення – $0,08 \pm 0,003$ – $0,09 \pm 0,002$ мг/кг ґрунту, максимальні $0,55 \pm 0,031$ – $0,21 \pm 0,002$ мг/кг ґрунту відповідно.

Інтервал варіювання концентрації кадмію в едафотопах екологічного профілю № 5 лівобережної частині міста становить: уміст валових і рухомих форм в максимальному та мініальному значеннях в корененасиченому шарі ґрунту: мінімальні значення становлять $0,49 \pm 0,02$ – $0,51 \pm 0,02$ мг/кг ґрунту, максимальні – $1,11 \pm 0,05$ – $1,06 \pm 0,05$ мг/кг ґрунту; мінімальні значення – $0,04 \pm 0,002$ – $0,08 \pm 0,006$ мг/кг ґрунту, максимальні – $0,37 \pm 0,019$ – $0,34 \pm 0,021$ мг/кг ґрунту відповідно.

5.5. Оцінка забруднення едафотопів урбанізованих територій

5.5.1. Корелятивна характеристика вмісту кадмію в едафотопах м. Кам'янське

Степове Придніпров'я, в межах якого розташовано м. Кам'янське – крупний регіон з високою концентрацією промислових підприємств: металургійних, хімічних, енергетичних, підприємств з видобутку та виробництва будівельних матеріалів; район транспортних магістралей та аграрного освоєння. Хімічне забруднення ґрунтів в основному відбувається через атмосферу шляхом осадження аерозолів та пилу. Промислові викиди та скиди визначають сучасну якість ґрунтів за вмістом кадмію. У роботі визначено, що класифіковані ґрунти урбанізованих територій – плантоземи та природні порушені ґрунти характеризуються підвищеною концентрацією кадмію порівняно з чорноземом звичайним еталонної ділянки різнотравно-кострицево-ковилевого степу Присамар'я Дніпровського.

Не зважаючи на наявність численних даних про вміст мікроелементів, в тому числі кадмію, в різних типах ґрунтів України, дотепер повна інформація про достовірну геохімічну поведінку елементів у ґрунтах і про пріоритетний вплив тієї чи іншої ґрунтової властивості на концентрацію конкретного елемента у певних ґрунтах (природних і антропогенно перетворених) практично відсутня [109].

З метою надання детальної корелятивної характеристики вмісту кадмію у екологічних профілях едафотопів досліджених урбанізованих територій було проведено кореляційний аналіз концентрації Cd з такими ґрунтовими характеристиками: вміст гумусу, сухий залишок, вміст хлорид-іонів, загальна лужність, рН водної витяжки, об'ємна вага, вміст карбонатів (табл. 5.15).

Таблиця 5.15

Коефіцієнти кореляції між фізико-хімічними ґрунтовими властивостями та вмістом Cd в едафотопках м. Кам'янське

Фізико-хімічні властивості ґрунту	Коефіцієнт кореляції
Сухий залишок, %	0,37
Хлорид-іони, мг-екв/100 г ґрунту	0,23
Вміст карбонатів, %	0,58
Гранулометричний склад	0,69
Гумус, %	0,75
pH	0,67
Об'ємна вага, г/см ³	0,44

Встановлені величини коефіцієнтів кореляції показали наявність математично доведеного зв'язку вмісту кадмію з кількістю ґрунтового гумусу, pH водної витяжки та загальною лужністю. Відсутній кореляційний зв'язок вмісту кадмію у ґрунті з такими показниками: хлорид-іони, сухий залишок та сульфат-іони. Відмічено тісний достовірний зв'язок вмісту кадмію з кількістю гумусу, що підтверджує природне походження цього елемента та його подальшу біогенну акумуляцію.

Вміст важких металів взаємопов'язаний з властивостями ґрунтового покриву урбоекосистем [24, 177, 197, 240, 247]. Вміст гумусу, хлорид-іонів, сухий залишок, загальну лужність, pH водної витяжки, об'ємну вагу та вміст кадмію піддали кореляційному аналізу.

Результати обробили стандартними методами варіаційної статистики (розраховано стандартне відхилення, достовірність обчисленого коефіцієнту кореляції доводили шляхом порівняння з критерієм Стьюдента t при $V = 30$; $p < 0,05$).

Встановлені величини коефіцієнтів кореляції показали наявність статистично доведеного зв'язку вмісту кадмію:

- з гумусом ґрунту ($r = 0,75 \pm 0,12$; $t_{r,\phi} = 6,25 > t_{r,T} = 2,04$);
- рН водної витяжки ($r = 0,67 \pm 0,13$; $t_{r,\phi} = 5,15 > t_{r,T} = 2,04$);
- вмістом фізичної глини ($r = 0,69 \pm 0,13$; $t_{r,\phi} = 5,31 > t_{r,T} = 2,04$);
- вмістом карбонатів ($r = 0,58 \pm 0,10$; $t_{r,\phi} = 5,80 > t_{r,T} = 2,04$).

Залежність між цими показниками достовірна.

Встановлену слабку кореляцію кадмію з сухим залишком ($r = 0,37 \pm 0,16$; $t_{r,\phi} = 2,31 > t_{r,T} = 2,04$), об'ємною вагою ($r = 0,44 \pm 0,16$; $t_{r,\phi} = 2,75 > t_{r,T} = 2,04$), сульфат-іонами ($r = 0,36 \pm 0,16$; $t_{r,\phi} = 2,25 > t_{r,T} = 2,04$) слід оцінювати з обережністю, адже залежність між цими показниками хоч і достовірна, але явище досить мінливе й потребує подальших досліджень.

Отримані результати взаємозв'язку вмісту Cd з фізико-хімічними властивостями ґрунтів узгоджуються з даними дослідників, які вивчали закономірності розподілу в ґрунтовому покриві степового Придніпров'я [148].

5.5.2. Оцінка ступеня забруднення важкими металами ґрунтів урбанізованих територій м. Кам'янське

Проблема забруднення компонентів навколишнього середовища, зокрема ґрунтів, кадмієм наразі набула виключної значимості у зв'язку з високою токсичністю цього важкого металу [44–46, 136].

Вміст кадмію, що відрізняється просторовою неоднорідністю, формується під впливом природних та антропо-техногенних факторів у ґрунтах Кам'янського ускладнює вирішення проблеми забруднення ґрунтів цим хімічним елементом.

За вмістом кадмію в ґрунтовому покриві адміністративні райони міста Кам'янське утворюють висхідний ряд: Дніпровський (0,62–5,53 мг/кг) – Південний (1,02–6,54 мг/кг) – Заводський (1,57–7,58 мг/кг), дані (рис. 5.6).

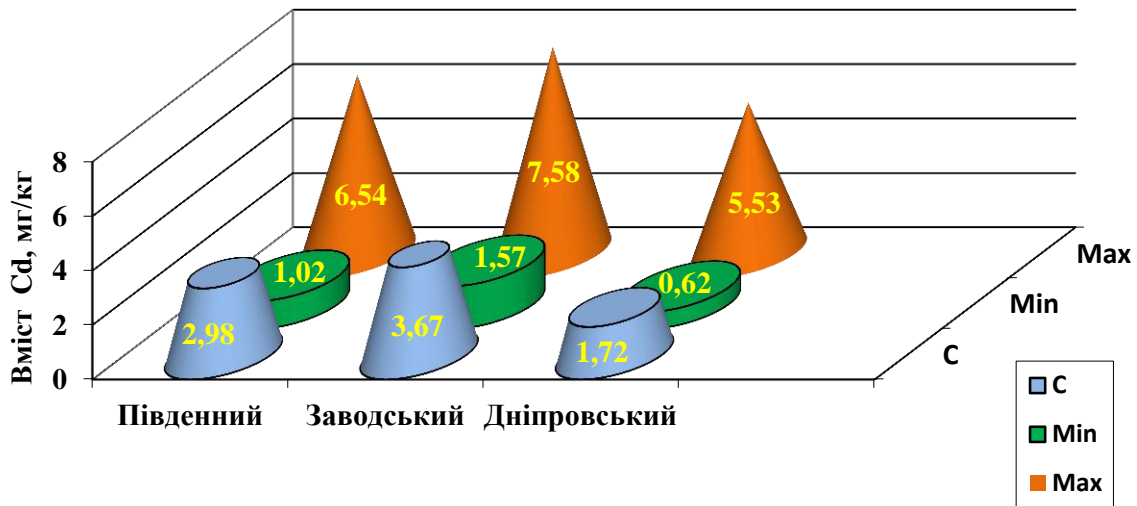


Рис. 5.6. Вміст кадмію в ґрунтах адміністративних районів м. Кам'янське

Відомо, що вміст кадмію у ґрунтах досить варіабельний під степовою рослинністю фонових ділянок і часто зустрічаються ґрунти з істотно різним умістом кадмію [14, 16]. Диференціація вмісту кадмію пов'язана з досить відмінним набором процесів у ґрунті та різноманітними їх властивостями.

Ґрунти, завдяки своїй високій поглинальній здатності, є депонуючим середовищем. В урбанізованих територіях вони виконують важливу роль біогеохімічних бар'єрів на шляху техногенних потоків. В ґрунтово-хімічному моніторингу важливою складовою є виявлення геохімічних аномалій – ділянок, в межах яких фіксуються відмінні від фонових параметри розподілу важких металів [111, 136].

Геохімічні аномалії кадмію, які були виявлені в ґрунтах м. Кам'янське, за походженням є змішаними. В якості базових фонових величин, для визначення техногенних аномалій нами використовувався його середній вміст у ґрунтах Дніпропетровської області, який за літературними даними становить 3 мг/кг. [97]. Оцінка інтенсивності утворення техногенних геохімічних аномалій в ґрунтах міста проводилась за показником рівня аномальності– коефіцієнтом концентрації K_{ci} , який розраховувався як відношення вмісту кадмію в едафотопі досліджуваних урбанізованих територій (C_i) до його фонового вмісту (C_{ϕ}) (табл. 5.16):

$$K_{Ci} = C_i / C_{\phi}, \quad (5.1)$$

де C_i – концентрація забруднюючої речовини в ґрунті, мг/кг

C_{ϕ} – фонові концентрації забруднень, мг/кг

Оцінити поведінку елемента у ґрунтовому горизонті дає змогу коефіцієнт співвідношення ґрунт– порода: якщо цей коефіцієнт дорівнює менше нуля, то можна судити про винесення, або вимивання елемента, якщо дорівнює 1, то будь-який перерозподіл відсутній, і якщо він становить більше 1, то говорять про акумуляцію слідового елемента в верхньому шарі ґрунту [63, 64]. Ступінь акумуляції кадмію в екологічному профілі едафотопів №2 представлений на рис. 5.7. Даний профіль було обрано, як найбільш показовий, оскільки він поєднує три з чотирьох типів ґрунтів, що виявлені на урбанізованій території міста.

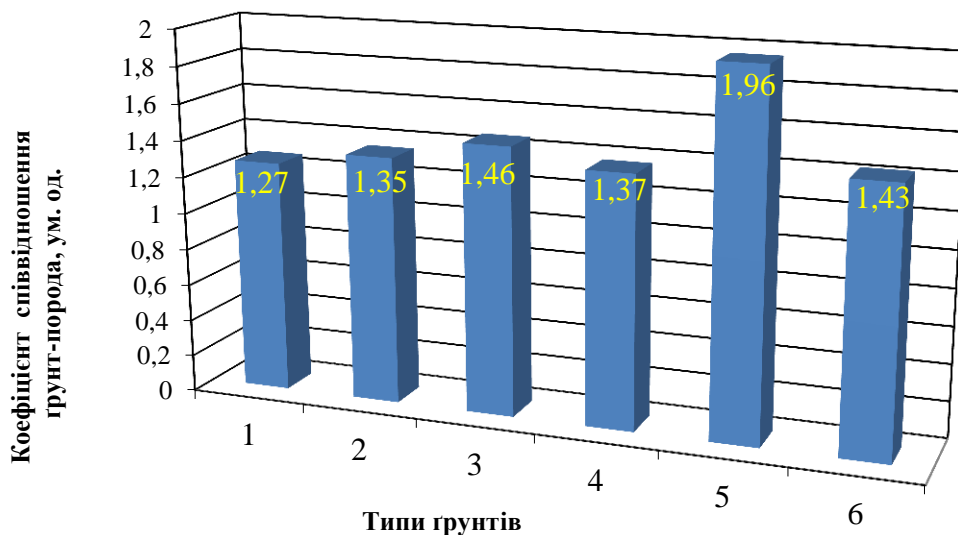


Рис. 5.7. Ступінь акумуляції кадмію у ґрунтах екологічного профілю едафотопів № 2 м. Кам'янське

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

Встановлено, що в усіх досліджених у роботі едафотопах екологічного профілю № 2 м. Кам'янське відбувається накопичення кадмію в ґрунтах, коефіцієнт співвідношення ґрунт-порода тут коливається в межах від 1,27 до 1,96 ум. од.

Для комплексної оцінки ступеню акумуляції кадмію (табл. 5.16) у едафотопах

міста Кам'янське розраховано даний показник для кожного адміністративного району окремо.

Таблиця 5.16

Оцінка інтенсивності утворення техногенних геохімічних аномалій в ґрунтах адміністративних районів м. Кам'янське

Ступінь забруднення	Шкала за коефіцієнтом K_c	Адміністративний район
дуже слабкий	0–1,0	не виявлено
слабкий	1,0–2,0	не виявлено
помірний	2,0–3,0	Дніпровський
сильний	3,0–4,0	Південний
дуже сильний	4,0–5,0	Заводський

Дані коефіцієнти свідчать про акумуляцію кадмію у верхньому шарі ґрунту, що з великою долею ймовірності підтверджує його антропо-техногенне надходження.

Оцінка ступеня забруднення ґрунтів за коефіцієнтом концентрації C_d в едафотопях урбанізованих територій показує аналогічний ряд:

помірний ($K_c = 2,62$) Дніпровський → сильний ($K_c = 3,51$) Південний → дуже сильний ($K_c = 4,27$) Заводський.

Висока концентрація промислових підприємств у центральній і східній зонах міста (Південний та Заводський адміністративні райони) сприяє високому рівню антропогенних навантажень на всі природні компоненти. Саме в цих зонах було зафіксовано високий вміст важких металів, надходження яких пов'язане з викидами як промислових підприємств, так і високою концентрацією транспортних потоків.

Висновки по розділу:

1. Максимальна акумуляція кадмію спостерігається в ґрунтах, що перебувають у умовах максимального антропо-техногенного пресу, а саме розташованих поблизу великих промислових підприємств і транспортних розв'язок, що виступають основними джерелами надходження кадмію у повітря м. Кам'янське та, як наслідок, у його ґрунтовий покрив.
2. Узагальнено особливості розподілу Cd Екологічного профілю № 2 латерально, визначено висхідний (асцендіальний) вид структури ландшафту, оскільки саме цей вид характеризується підвищенням концентрації кадмію з пониженням рельєфу. Враховуючи концентрацію валової форми кадмію та альтитуду досліджуваних ділянок (точок) латеральний вид структури ландшафту утворює висхідний ряд: т. 1 – $C_{Cd}^{вал.}(2,57 \pm 0,25 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (161 м) → т. 2 – $C_{Cd}^{вал.}(2,69 \pm 0,27 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (152 м) → т. 3 – $C_{Cd}^{вал.}(3,69 \pm 0,35 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (85 м) → т. 4 – $C_{Cd}^{вал.}(5,65 \pm 0,54 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (76 м) → т. 5 – $C_{Cd}^{вал.}(7,59 \pm 0,62 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (79 м) → т. 6 – $C_{Cd}^{вал.}(6,74 \pm 0,52 \text{ мг/кг})$ – альтитуда (79 м).
3. Аналіз розподілу Cd радіально (шар ґрунту 0–150 см) в Екологічному профілі № 2 дозволив виділити наступні види геохімічної структури ландшафтів: 1) невиразний (т. 1 і 2) – плантоземи району житлової забудови біля залізничного та автовокзалів характеризуються незначною зміною вмісту валової форми кадмію; 2) гумусовий (т. 4, 5, 6) – власне урбаноземи, плантоземи, природні порушені ґрунти відзначаються максимальним рівнем вмісту валової форми Cd у ґрунтовому горизонті.
4. Радіальний розподіл рухомої форми кадмію у плантоземах пробних ділянок показав, що інтервал варіювання збільшується з глибиною ґрунтового профілю. Встановлено лесивований вид структури ландшафту.
5. Інтервал варіювання рухомої форми Cd в ґрунтах пробної ділянки (т. 2) залишається незмінним по всьому генетичному горизонті і складає $0,08 \pm 0,002$ – $0,08 \pm 0,01$ мг/кг ґрунту, що дало підставу охарактеризувати цей вид ландшафту за геохімічною структурою як невиразний.

6. Аналіз розподілу валової та рухомої форм Cd в усіх на пробних ділянках (точках) досліджених ґрунтів показав, що кадмій концентрується у верхній частині ґрунтового горизонту та відносно рівномірно зменшує вміст зі зниженням генетичних горизонтів ґрунтового профілю міських ландшафтів.
7. Найвищі концентрації вмісту кадмію відмічені для профілю 1–6, зокрема для корененасиченого ґрунтового горизонту (до 50 см), що свідчить про техногенний вплив, що сприяє надходженню кадмію у ґрунти.
8. У всіх досліджених едафотобах екологічного профілю № 2 м. Кам'янське відбувається накопичення кадмію в ґрунтах, коефіцієнт співвідношення ґрунт-порода коливається в межах від 1,27 до 1,96 ум. од.
9. Встановлені величини коефіцієнтів кореляції показали наявність математично доведеного зв'язку з кількістю гумусу ($r = 0,75$), рН ($r = 0,67$), вмістом фізичної глини ($r = 0,69$), вміст карбонатів ($r = 0,58$).
10. За вмістом кадмію в ґрунтовому покриві адміністративні райони міста Кам'янське утворюють висхідний ряд: Дніпровський (0,62–5,53 мг/кг) – Південний (1,02–6,54 мг/кг) – Заводський (1,57–7,58 мг/кг).

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

- Цветкова, Н. М., Гунько, С. О. (2015). Корелятивна характеристика кадмію в ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*, 23(2), 190–196. doi: 10.15421/011527 (особистий внесок: опрацьовано літературні джерела, оброблено матеріал, проаналізовано результати й оформлення для публікації) (*Web of Science*).
- Гунько, С. О. (2015). Екологічні особливості розповсюдження кадмію в едафотобах урбанізованих територій степового Придніпров'я (на прикладі м. Дніпродзержинська), *Ґрунтознавство*, 16(3–4), 52–59. doi: 10.15421/041517 (*Index Copernicus International*).
- Гунько, С. А., Цветкова, Н.Н. (2010). Кадмий в урбанізованому почвенном покриве г. Днепродзержинска. *Екологія. Людина. Суспільство: Збірка тез*

доповідей XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. (С. 36–37). Київ: НТУУ «КПІ».

- Гулько, 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.
- 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 эколога-2017: Доклады международного научного симпозиума*. (С. 142–144). Каменское: ДГТУ.
- Якуба, М. С., Гулько, 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)
- 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.
- Гулько, С. О., Цветкова, Н. М. (2012). Склад та міграція кадмію в антропогенно перетворених ґрунтах. *Неделя эколога–2012: Тезисы докладов международного симпозиума*. (С. 40–42). Днепродзержинск: ДДТУ.
- 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.

РОЗДІЛ 6. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ БІОЛОГІЧНОГО КРУГООБІГУ КАДМІЮ В КУЛЬТУРБІОГЕОЦЕНОЗАХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

6.1.Індекс інтенсивності біологічного кругообігу речовин як один із показників закономірностей розподілу кадмію в м. Кам'янське

Розвиток промисловості, її екологічно необґрунтоване розміщення, інтенсивне збільшення кількості автотранспорту в містах супроводжуються забрудненням довкілля, негативний вплив якого відбивається на фітоценотичному та ґрунтовому покриві. В урбанізованому середовищі трав'яні культури, поряд із чагарниками та деревними породами, виступають як універсальні біологічні природні фільтри в очищенні атмосфери, ґрунту та води від техногенних забруднень [111, 255, 263, 265, 271].

Лісові біоценози розвиваються за законами біологічного кругообігу речовин своєї зони.

Характер та інтенсивність кругообігів біогенних елементів та потоків енергії є ключовими характеристиками стану екосистем. Особливо інформативними для біоіндикації можуть бути кругообіги окремих елементів [44–46, 132, 162, 276].

Вивчення біологічного кругообігу кадмію у біосфері дозволяє оцінити його дефіцит, або його надлишок, ступінь токсичності у природних умовах, порушення у механізмі його міграцій під впливом діяльності людини. Знання закономірностей біогеохімічних циклів дозволяє прогнозувати їх зміни у навколишньому природному середовищі.

Опадо-підстилковий коефіцієнт являє собою показник інтенсивності міграції речовин в конкретних типах біогеоценозів, а тип міграції речовин в біогеоценозах визначається по десятибальній шкалі, складеній Н.І. Базилевич та Н.І. Родіним [105], дані представлені в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Десятибальна шкала числових показників біологічного кругообігу речовин [104]

Бал	Органічна частина		Відношення підстилки до опаду	
	Опад, ц/га	Підстилка, ц/га	Індекс інтенсивності	Тип кругообігу
1	10	1	50	Застійний
2	11–25	1–5	21–50	
3	26–35	6–25	16–20	Сильно загальмований
4	36–45	26–76	11–15	
5	46–76	76–125	6–10	
6	76–100	126–250	1,6–6	Загальмований
7	101–125	251–400	0,8–1,5	Інтенсивний
8	126–225	401–600	0,3–0,7	
9	226–400	601–1000	0,1–0,2	Дуже інтенсивний
10	400	1000	0,1	

Важливим показником біологічного кругообігу є інтенсивність. Опадо-підстилковий коефіцієнт (ОПК) – це коефіцієнт утилізації органічної речовини, тобто показник інтенсивності [53, 104]. Біологічний кругообіг речовин характеризується опадо-підстилковим коефіцієнтом, для визначення якого необхідна інформація про запаси підстилки та опаду в досліджуваних біогеоценозах.

Опадо-подстилковий коефіцієнт речовин визначається як відношення загального запасу лісової підстилки (степової повсті) до запасу опаду зеленої маси :

$$ОПК = \frac{\text{загальний_запас_підстилки}}{\text{загальний_запас_опаду}} \quad (6.1)$$

Об'єктами виступили підстилка, як один із основних акумуляторів поліютантів, потужність якої є одним із найбільш чутливих та інформативних показників біологічного кругообігу та опад екосистем урбанізованих територій міста.

Для розрахунку ОПК нами були визначені інформативні показники запасів підстилки (табл. 6.2) та опаду (табл. 6.3) у екосистемах дубово-кленово-білоакацієвих насаджень правобережної та лівобережної частин міста.

Таблиця 6.2

Запаси підстилки лісових екосистем м. Кам'янське

Тип міських ґрунтів	Зона міста	Екосистема	Потужність підстилки, см	Підстилка, ц/га					
				Повітряно-суха маса			Абсолютно-суха маса		
				С	δ	V, %	С	δ	V, %
Природні порушені	Рекреаційна, правобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	1,9	110,98	11,62	10,47	108,09	11,21	10,37
Рістоземи	Рекреаційна, лівобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	2,5	123,14	12,22	9,92	120,10	12,52	10,42

Зниження вмісту гумусу у верхніх горизонтах ґрунтів – явище типове майже для всіх сучасних міст і, в першу чергу, пов'язане з вилученням листяного опаду [53]. Постійне видалення листяного опаду, а також підстригання газонів призводить до розмикання природних біогеохімічних циклів внаслідок знищення каналів повернення поживних речовин до ґрунтів [147, 175, 181, 207, 233]. З іншого боку, процеси розпаду, гуміфікації та мінералізації навіть тих рослинних решток, що не були вилучені, гальмуються внаслідок дії всього комплексу антропогенних впливів.

Потужність підстилки екосистем досліджувалася як важливий діагностичний показник інтенсивності деструкційних процесів та відображення балансу надходження і розкладу органічної речовини у екосистемі [21]. Важливою частиною пізнання особливостей біокругообігу речовин у екосистемах є визначення зольного складу підстилки [19, 83]. Цей показник надав нам можливість з'ясувати швидкість вивільнення окремих елементів живлення з органічно-мінеральної речовини в процесі її розкладу, а також простежити напрямок міграції Cd у ґрунті.

Потужність підстилки дубово-кленово-білоакацієвого насадження лівобережної частини міста – 2,5 см, правобережної – 1,9 см. Такі закономірності пояснюються неоднаковим фракційним складом та різною щільністю складеності відмерлих рослинних залишків.

Таблиця 6.3

Запаси опаду лісових екосистем м. Кам'янське

Тип міських ґрунтів	Зона міста	Екосистема	Опад, ц/га					
			Повітряно-суха маса			Абсолютно-суха маса		
			С	δ	V, %	С	δ	V, %
Природні порушені	Рекреаційна, правобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	35,90	3,730	10,38	31,10	3,15	10,13
Рістоземі	Рекреаційна, лівобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	44,43	4,61	10,36	38,88	3,95	10,16

Запаси опаду лісових екосистема урбанізованих територій міста, в середньому коливалися від $31,10 \pm 3,15$ ц/га правобережної частини міста до $38,88 \pm 3,95$ ц/га абсолютно-сухої маси.

За отриманими даними нами було розраховано опадо-підстилковий коефіцієнт речовин у штучних лісових насадженнях для визначення типу біологічного кругообігу (табл. 6.4).

Таблиця 6.4

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

Екосистема	Зона міста	ОПК	Тип біологічного кругообігу
Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Рекреаційна, правобережна частина міста	$3,14 \pm 0,15$	загальмований
Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Рекреаційна, лівобережна частина міста	$3,09 \pm 0,11$	загальмований

Отримані дані опадо-підстилкового коефіцієнту свідчать про загальмований тип біологічного кругообігу у досліджуваних екосистемах (бал 6, згідно шкали числових показників)

Відомо, що кадмій не підлягає розкладанню, при надходженні до навколишнього середовища, та продовжує свою циркуляцію. Нові надходження важкого металу додаються до вже існуючої кількості у довкіллі. Кадмій та його сполуки відносно водорозчинні, тому вони більш мобільні, наприклад, у ґрунті, як правило, відрізняються більшою біодоступністю та тенденцією до біологічного накопичення [114, 142, 167, 193, 199, 203]. Вміст кадмію у штучних лісових насадженнях промислового Кам'янського представлено в табл. 6.5

Таблиця 6.5

Вміст кадмію в лісових екосистемах промислового м. Кам'янське, мг/кг

Тип міських ґрунтів	Зона міста	Екосистема	Об'єкти	$C \pm \delta$
Природні порушені	Рекреаційна, правобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Підстилка	$0,351 \pm 0,003$
			Опад	$0,356 \pm 0,004$
Рістоземі	Рекреаційна, лівобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Підстилка	$0,511 \pm 0,005$
			Опад	$0,430 \pm 0,003$

Вміст кадмію у підстилці та опаді дубово-кленово-білоакацієвих насаджень правобережної частини міста майже не відрізняється за своїми значеннями, в той час, як вміст Cd у аналогічних досліджуваних об'єктах екосистем лівобережної частини характеризуються дещо вищими значеннями.

Гумусо-аккумулятивний горизонт є важливим сорбентом та накопичувачем сполук, що надходять з викидами, при чому у підстилці їх вміст може збільшуватись на 1–2 порядки. Накопичення забруднювачів значно змінює природну кількісне співвідношення окремих елементів, їх органічних, органо-мінеральних і мінеральних форм сполук у ґрунті. Полютанти діють як на мінеральну, так і на

органічну речовину ґрунту [285, 286]. У результаті зниження біологічної активності ґрунтів і швидкості трансформації рослинного опаду зменшується вміст ворозчинних органічних сполук, в тому числі вуглеводних і фенольних компонентів.

Для розрахунку інтенсивності міграції кадмію в досліджуваних екосистемах нами приведені дані запасів кадмію у дубово-кленово-білоакацієве насадження (табл. 6.6).

Таблиця 6.6

Запаси кадмію в лісових екосистемах промислового м. Кам'янське

Тип міських ґрунтів	Зона міста	Екосистема	Об'єкти	Cd, г/га
Природні порушені	Рекреаційна, правобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Підстилка	3,79
			Опад	1,11
Рістоземи	Рекреаційна, лівобережна частина міста	Дубово-кленово-білоакацієве насадження	Підстилка	6,14
			Опад	1,67

Співвідношення вмісту кадмію у підстилці й опаді (ОПК) дає можливість оцінити швидкість обертання мікроелементу в системі ґрунт–рослина.

Для оцінки інтенсивності міграції важких металів в досліджуваних біогеоценозах визначався опадо-підстилковий коефіцієнт важких металів (ОПК_{в.м}), який розраховується за формулою:

$$\text{ОПК}_{\text{в.м}} = \frac{\text{запаси важких металів в підстилці}}{\text{запаси важких металів в опаді}}$$

Таблиця 6.7

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

Швидкість розкладання органічної речовини та біологічна активність ґрунту залежать не тільки від інтенсивності забруднення, але й від складу токсикантів [216]. За даними Обухова промислові викиди різко гальмують швидкість біологічного кругообігу в лісових екосистемах. Біогеохімічні цикли біогенів виявляються розірваними на стадії деструкції органічної речовини, а макро- і мікроелементи – законсервованими в шарі підстилки, тобто забруднення ґрунтів важкими металами й токсичними окислами уповільнює деструкційні процеси, що цілком узгоджується з отриманими нами результатами [114, 198, 256].

6.2. Різноманіття кругообігів органо-мінеральних речовин у штучних лісових насадженнях степового Придніпров'я

Для аналізу порівняння різноманіття кругообігів органо-мінеральних речовин урбанізованих територій було обрано еталонні лісові біоценози лісової зони степового Придніпров'я. В степовій зоні в лісових природних та штучних екосистемах існує інший тип біологічного кругообігу речовин та елементів. Створення лісу в степу, де інші життєві умови та шляхи біологічного кругообігу речовин, потребує тривалих моніторингових досліджень існуючих лісових біогеоценозів.

Штучні дубові насадження. Досліджені 50-річні штучні дубові насадження з чагарниковим підліском посаджені на ділянці розораного різнотравно-кострицево-ковилового степу. Насадження розташовані на плакорі в 3 км від с. Всесвятське Новомосковського району Дніпропетровської обл. Зімкненість деревостану 0,5–0,9. Середня висота дерев становить 12 м. Ґрунт – чорнозем лісопокращений суглинистий, середньо вилужений, середньо гумусний, слабозмитий, на лесах. Ряди дуба звичайного чергуються з рядами чагарників. У чагарниковому підліску клен татарський та рідше бересклет європейський. В біогеоценозі яскраво представлені 2 основні парцели, як елементи структурного стану біогеоценозу: дубово-чагарниково-мертвопокровна (85%) та різнотравно-злакова (15%).

Дослідження біологічного кругообігу речовин показали, що в обох парцелах формується загальмований тип біологічного кругообігу речовин (в дубово-чагарниково-мертвопокровній парцелі індекс інтенсивності становить $4,04 \pm 0,8$ (запаси підстилки $2,12 \pm 0,20$ т/га, запаси опаду $0,68 \pm 0,05$ т/га); в різнотравно-злаковій індекс інтенсивності складає $2,9 \pm 0,1$ (тип кругообігу – загальмований, бал VI).

Отриманий результат підтверджує: в умовах степового півдня велику роль у формуванні кругообігу речовин і елементів відіграє світлова структура насаджень. Так, в однакових умовах атмосферного зволоження в штучному дубовому насадженні збільшена кількість сонячної радіації, що проникає під полог лісу, в різнотравно-злаковій парцелі призводить до небажаних наслідків – проникненню світлолюбивих степняків під полог лісу та зміщенню біологічного кругообігу в сторону інтенсифікації. Порівнюючи отримані дані з інформаційними показниками біологічного кругообігу, результати наших досліджень фіксують однаковий тип – загальмований, бал VI, однак, дещо відмінні значення ОПК ($3,14 \pm 0,15$; $3,09 \pm 0,11$).

Штучні білоакацієві насадження. Найбільш характерні 41-річні штучні білоакацієві насадження суховатого типу зволоження, які розташовані у верхній третині схилу південної частини правого берегу річки Самара в 3 км від с. Андріївка Новомосковського району Дніпропетровської області. Ґрунти – чорнозем лісопокращений, малогумусний, карбонатний, середньосуглинистий,

сильнозмитий на червоно-бурій глині. Зімкненість крон – 0,6. В трав'яному покриві переважають степові, лучні види: шандра рання, зубрівка духмяна та ін. Проективне покриття становить 65 %. Запаси підстилки $7,5 \pm 0,65$ т/га. Запаси опаду $2,5 \pm 0,1$ т/га, опадо-підстилковий коефіцієнт $2,9 \pm 0,25$, тип біологічного кругообігу загальмований (бал VI), в цілому, так само узгоджується з попередньо отриманими нами результатами

Штучні білоакацієві насадження. Характерні 42-річні штучні білоакацієві насадження свіжуватого типу зволоження розташовані у нижній третині схилу південної експозиції правого берегу р. Самари. Крутизна схилу $12-15^\circ$. Вихідний тип насадження рядовий. Зімкненість крон становить 0,8. Ґрунт визначається, як чорнозем лісопокрощений, супіщаний, середньогумусний, середньосуглинистий. Травостій насадження представлений здебільшого багаторічниками та однорічниками з коротким вегетаційним періодом і має плямисто-зарослеву структуру. Запаси підстилки $13,23 \pm 1,1$ т/га, запаси опаду $3,18 \pm 0,29$ т/га, опадо-підстилковий коефіцієнт $4,2 \pm 0,4$. Тип біологічного кругообігу речовин загальмований (бал VI). Відмітимо, що даний тип кругообігу максимально наближений до аналогічного типу у штучних насадженнях урбанізованих територій м. Кам'янське.

Висновки по розділу:

1. Встановлено, що запаси опаду лісових екосистема 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.
2. Отримані дані опадо-підстилкового коефіцієнту свідчать про загальмований тип біологічного кругообігу у досліджуваних культур біогеоценозах. ОПК правобережної частини міста складає $3,14 \pm 0,15$, лівобережної частини – $3,09 \pm 0,11$, що відповідає балу 6, згідно шкали числових показників.

3. Для розрахунку інтенсивності міграції кадмію в досліджуваних культурбіогеоценозах 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 містяться запаси кадмію у підстилці 6,14 ц/га, в опаді – 1,67 ц/га.
4. Співвідношення вмісту важких металів у підстилці й опаді зеленої маси (ОПК) дає можливість характеризувати швидкість обертання елемента в системі ґрунт–рослина – інтенсивність (ОПК) біологічного кругообігу кадмію у штучних лісових насадженнях м. Кам'янське склала 3,41 та 3,67, відповідно; загальмований тип кругообігу.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

- Гунько, 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.
- Гунько, 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.
- Гунько, 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».
- Дубина, А. О, Гунько, С. О. (2019). Трансформація біокругообігу речовин степової зони під впливом лісових насаджень. *Тиждень еколога-2019*: Збірник тез доповідей міжнародного наукового симпозіуму. (С. 210–213). Кам'янське: ДДТУ.

- Дубина, А. О., Гунько, 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»
- Гунько, 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). Haifa.
- Гунько, 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. Травлеєва*. (С. 107–110). Дніпро: Ліра.

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

7.1. Математичні моделі забруднення кадмієм едафотопів урбанізованих територій

Діяльність людства на сьогодні спричиняє безліч екологічних проблем, які пов'язані з погіршенням стану якості природного середовища. Особливо складна ситуація складається у великих містах промислово розвинутих регіонів України. Одним із найгостріших екологічних та соціальних питань є забруднення атмосферного повітря антропогенними джерелами (викиди промисловості, транспорту, опалювальних систем). Щорічно в атмосферу викидається велика кількість різноманітних забруднюючих речовин, яка несе загрозу та може спричинити небезпеку для живих організмів, в тому числі людини, і завдати шкоди матеріальним цінностям (будівлі, споруди, дорожні покриття тощо), що сприятиме значним економічним збиткам. Саме антропогенне забруднення атмосфери має найбільш негативний вплив на навколишнє середовище. Основними антропогенними джерелами забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами є організовані стаціонарні джерела (48,5 %), пересувні джерела (38,7 %), неорганізовані стаціонарні джерела (12,8 %).

Застосування застарілих технологій, відсутність сучасних та ефективних очисних споруд, збільшення кількості викидів автотранспорту може призвести до критичного стану атмосферного повітря [54]. Відомо, що з атмосфери до ґрунту слідові елементи надходять зазвичай у формі оксидів, де з часом розчиняються, перетворюючись в гідроксиди, карбонати чи у форму обмінних катіонів. Ґрунти піщані, малогумусні, стійкі до забруднення, це значить, що вони слабо затримують мікроелементи, сприяють легкому надходженню їх до рослин або пропускають через себе з фільтраційними водами [15].

З метою розробки заходів, які спрямовані на зменшення негативних антропо-техногенних наслідків на навколишнє середовище і покращення екологічної ситуації необхідна організація екологічного моніторингу [226, 227].

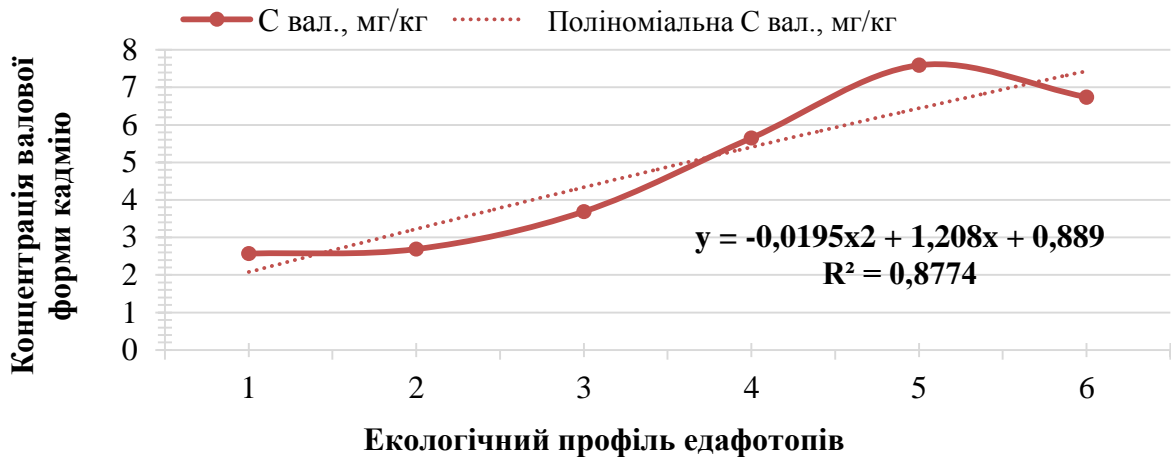
Моніторинг – це система комплексних науково-інформаційних регламентованих довгострокових спостережень з метою оцінки і прогнозування змін стану довкілля для виявлення негативних наслідків і розробка рекомендацій з їх усунення або зменшення. Моніторинг є основним джерелом інформації для моделювання та прогнозування стану довкілля. Сучасний інструмент моніторингу – моделювання. Моделювання – це метод, який дозволяє здійснити перенос інформації від реальної системи до моделі та навпаки. Моделювання – опосередковане оперування об'єктом з метою отримання його додаткових характеристик [54].

Необхідною умовою моделювання є подібність об'єкта і його моделі. Вона повинна будуватися так, щоб як найповніше відображати ті якості об'єкта, котрі необхідно дослідити у відповідності з поставленою метою. Модель має бути простішою за об'єкт дослідження. Так, для одного об'єкту можуть існувати різні моделі та їх класи, що відповідають різним цілям дослідження [191, 195]. Ще однією вимогою до моделі є можливість роботи при наявності доступних даних і забезпечення більшої точності моделювання при збільшенні кількості інформації та покращення її якості.

Характерною особливістю для математичних рівнянь територіального прогнозу вмісту валової форми важкого металу в екологічних профілях едафотопів міста є наявність високого позитивного коефіцієнту множинної кореляції R^2 . Величина R^2 відображає ступінь достовірності апроксимації. Чим ближче цей параметр до одиниці, тим точніше апроксимуюча функція описує фактичні дані.

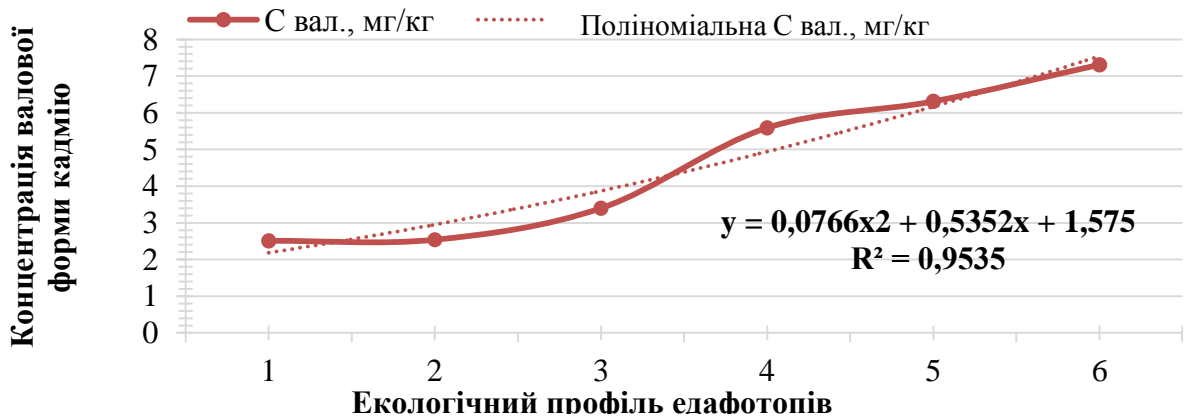
На основі отриманих даних за допомогою методів регресійного аналізу нами розроблено модель забруднення кадмієм едафотопів урбанізованих територій міста. За дискретними даними побудовано апроксимуючу функцію, тобто лінію тренду за допомогою стандартних математичних пакетів. Для оцінки достовірності результату проведена екстраполяція усіма стандартними математичними методами, що надало можливість обрати найбільш достовірний метод побудови тренду. Оскільки саме поліноміальна функція тренду підтверджується найбільш високим коефіцієнтом апроксимації ($R^2=0,80-0,98$) можна зробити висновок, що розроблена модель сприяє

визначенню спеціального довірчого інтервалу та надає можливість з високою точністю змоделювати забруднення едафотопів урбанізованих територій м. Кам'янське. На рисунках 7.1–7.4 представлено розроблені математичні моделі вмісту валової форми кадмію для конкретних типів урбанізованих територій м. Кам'янське (грунтовий профіль 0–150 см), складене рівняння множинної регресії.



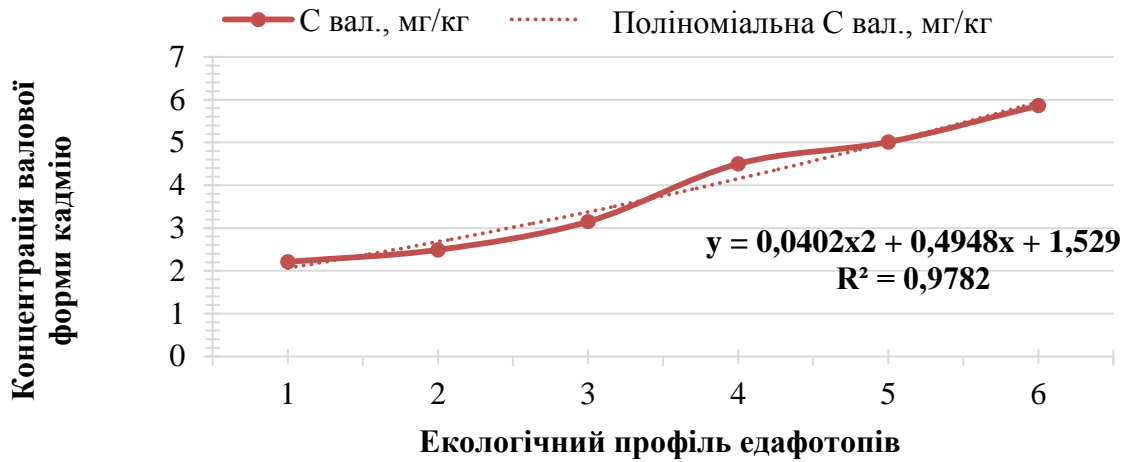
1, 2, 3, 4 – власне урбаноземи; 5 – плантоземи; 6 – природні порушені ґрунти

Рис. 7.1. – Математичне рівняння прогнозу вмісту валової форми кадмію у екологічному профілю едафотопів № 2 м. Кам'янське: шар ґрунту 0–10 см.



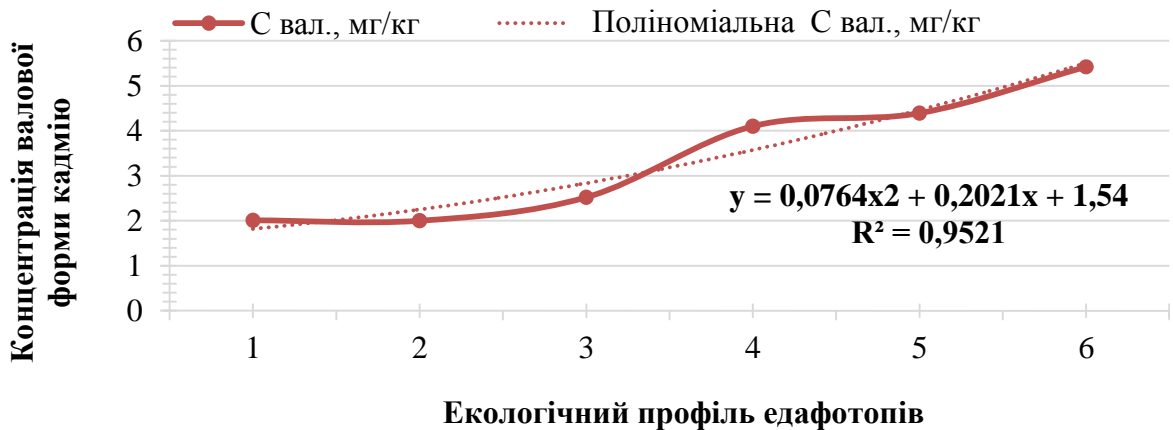
1, 2, 3, 4 – власне урбаноземи; 5 – плантоземи; 6 – природні порушені ґрунти

Рис. 7.2. – Математичне рівняння прогнозу вмісту валової форми кадмію у екологічному профілю едафотопів № 2 м. Кам'янське: шар ґрунту 20–50 см.



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

Рис. 7.3. – Математичне рівняння прогнозу вмісту валової форми кадмію у екологічному профілю едафотопів № 2 м. Кам'янське: шар ґрунту 50–80 см.



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

Рис. 7.4 – Математичне рівняння прогнозу вмісту валової форми кадмію у екологічному профілю едафотопів № 2 м. Кам'янське: шар ґрунту 120–150 см.

Величина R відображає ступінь достовірності апроксимації. Чим ближче цей параметр до одиниці, тим точніше апроксимуюча функція описує фактичні дані. Відповідно до проведених розрахунків прогнозу вмісту валової форми кадмію

можна зробити висновок про точність апроксимуючої функції, що описує фактичні дані: значення R^2 знаходиться в інтервалі 0,88–0,98.

Окремим здобутком для подальших моніторингових досліджень вмісту кадмію в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське є побудова регресійного рівняння, за допомогою якого можна оперативно прослідковувати за екологічним станом едафотопів урбанізованих територій міста.

7.2. Інтерполяція вмісту кадмію в ґрунтах урбанізованих територій

Світовий досвід демонструє, що ефективність інтелектуальної праці державних службовців департаментів, виконавчих органів міста та мерій може бути врахований та використаний в роботі, яка тісно пов'язана з рівнем соціально-економічного розвитку міста та підвищенням найвищих темпів в тому випадку, коли можливо одночасно зібрати та швидко проаналізувати великі об'єми різноманітної інформації про все міське господарство (чи окрему його галузь, наприклад, екологічну ситуацію), не збільшуючи при цьому інвестиції та чисельність обслуговуючого персоналу.

Програмні продукти ArcGIS – це потужний набір засобів для створення та редагування географічних баз даних, для цілей просторового аналізу, пошуку, надання та керування даними. Ці засоби можуть використовуватись для підтримки різноманітних адміністративних функцій, таких, наприклад, як: земельний кадастр міста, видача дозволів на викиди та скиди, дії у критичних ситуаціях, планування, стратегія розвитку, прийняття рішень, оцінка рівня забруднення компонентів навколишнього середовища тощо [194]. Використання технології ГІС кардинально прискорює та підвищує якість роботи зі звичайними картами та планами.

Програмне забезпечення ArcGIS використовується у всьому світі в якості засобів вирішення типових задач, з якими мають справу органи управління. ArcGIS Spatial Analyst – модуль, який представляє собою великий набір функцій просторового аналізу та моделювання місцевості на основі растрової моделі, а також застосування вектор-растрового аналізу – в цілому містить більше 200 інструментів обробки та аналізу геоданих.

Модуль ArcGIS Spatial Analyst надає широкий спектр можливостей для роботи з растрами, що дозволяють створювати, запитувати, картувати й аналізувати растрові дані. ArcGIS Spatial Analyst також дозволяє проводити спільний растрово-векторний аналіз. За допомогою модуля Spatial Analyst можна отримувати інформацію про наявні дані, визначати їх просторові взаємини, виявляти місця розташування по заданих критеріях.

ArcGIS Spatial Analyst надає великий набір інструментів, який істотно розширює середовище геообробки ArcGIS Desktop (Kevin et al., 2001; Ha et al., 2014). Для вирішення проблем в необхідній області діяльності керівник організує наповненість ГІС актуальною географічною та тематичною інформацією [90].

Тематикою дослідницької роботи є вміст валової та рухомої форм кадмію у ґрунтовому покриві м. Кам'янське. Подібна інформація нова і в різному ступені є актуальною для всіх без виключення напрямків антропо-техногенної діяльності на території промислових міст і є вкрай важливою для контролю якості життя населення урбанізованих територій.

У роботі досліджено вміст і розповсюдження валової і рухомої форм кадмію за ландшафтом та глибиною ґрунтового профілю (0–150 см), створено карти інтерполяції забруднення ґрунтів кадмієм (валова та рухома форми) Кам'янського, що продемонструвало можливості програмного забезпечення продукту ArcGIS модулю Spatial Analyst в оцінюванні забруднення едафотопів урбанізованих територій Cd.

За результатами проведених досліджень розроблено електронну карту концентрації валової та рухомої форм Cd в едафотопах урбанізованих територій м. Кам'янське, з формуванням зон розповсюдження кадмію в межах міста.

Проведені дослідження дозволили створити карти інтерполяції забруднення кадмієм едафотопів (валова та рухома форми) м. Кам'янське для оцінки та територіального прогнозування цього слідового елементу в ґрунтах міста, оцінити екологічний стан ґрунтів за вмістом кадмію, з метою виявлення закономірностей його розподілу в едафотопах урбанізованих територій з використанням програмного забезпечення ArcGIS модулю Spatial Analyst.

Геоінформаційна обробка даних проводилась із застосуванням геоінформаційних технологій, що полягає у створенні електронних карт визначених параметрів, а також їх моделювання та прогнозування.

Проведено інтерполяцію отриманих результатів варіювання концентрації кадмію з використанням інструментів модулю Spatial Analyst програмного продукту ArcGIS, у відповідних горизонтах ґрунту, що дозволило виявити аномальні зони вмісту валових форм кадмію (рис.7.5.–7.9).

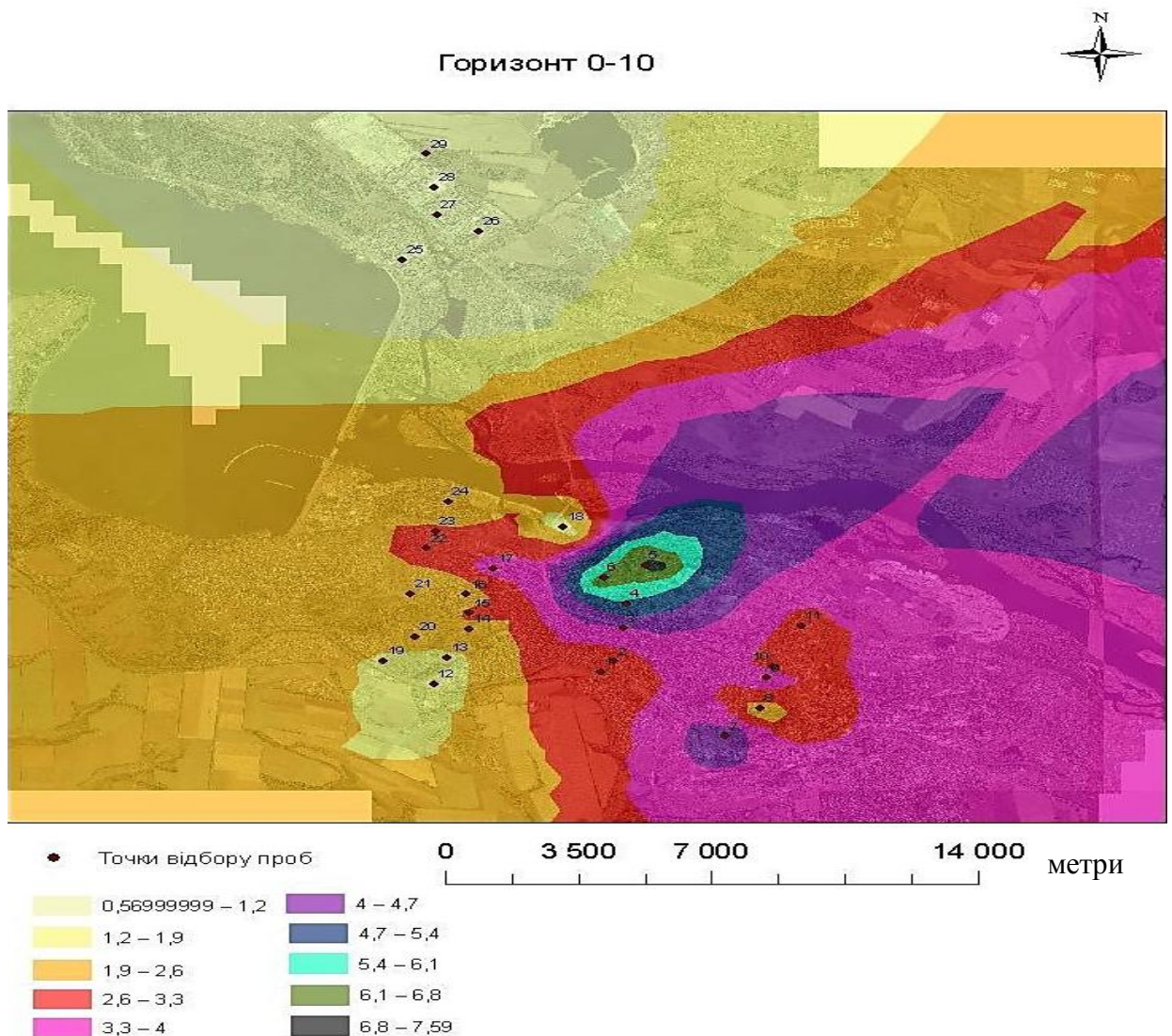


Рис. 7.5. Інтерполяція вмісту валових форм кадмію у ґрунтах м. Кам'янське (0–10 см)

Згідно проведеної інтерполяції, встановлено можливе перевищення вмісту валових форм кадмію в едафотопах в шарі 0–10 см (відносно регіонального фону) у центральній та східній правобережних частинах міста Кам'янське. Так, вміст кадмію

варіює в діапазоні 7,59–5,4 мг/кг (поблизу т. 4, 5, 6 екологічного профілю едафотопів № 2), 4,0–4,7 мг/кг (навколо т. 3 екологічного профілю едафотопів №1 та у північно-східній та східній частинах міста), 4,0–4,7 мг/кг – вміст валової форми кадмію у ґрунтах майже всієї східної правобережної частини міста.

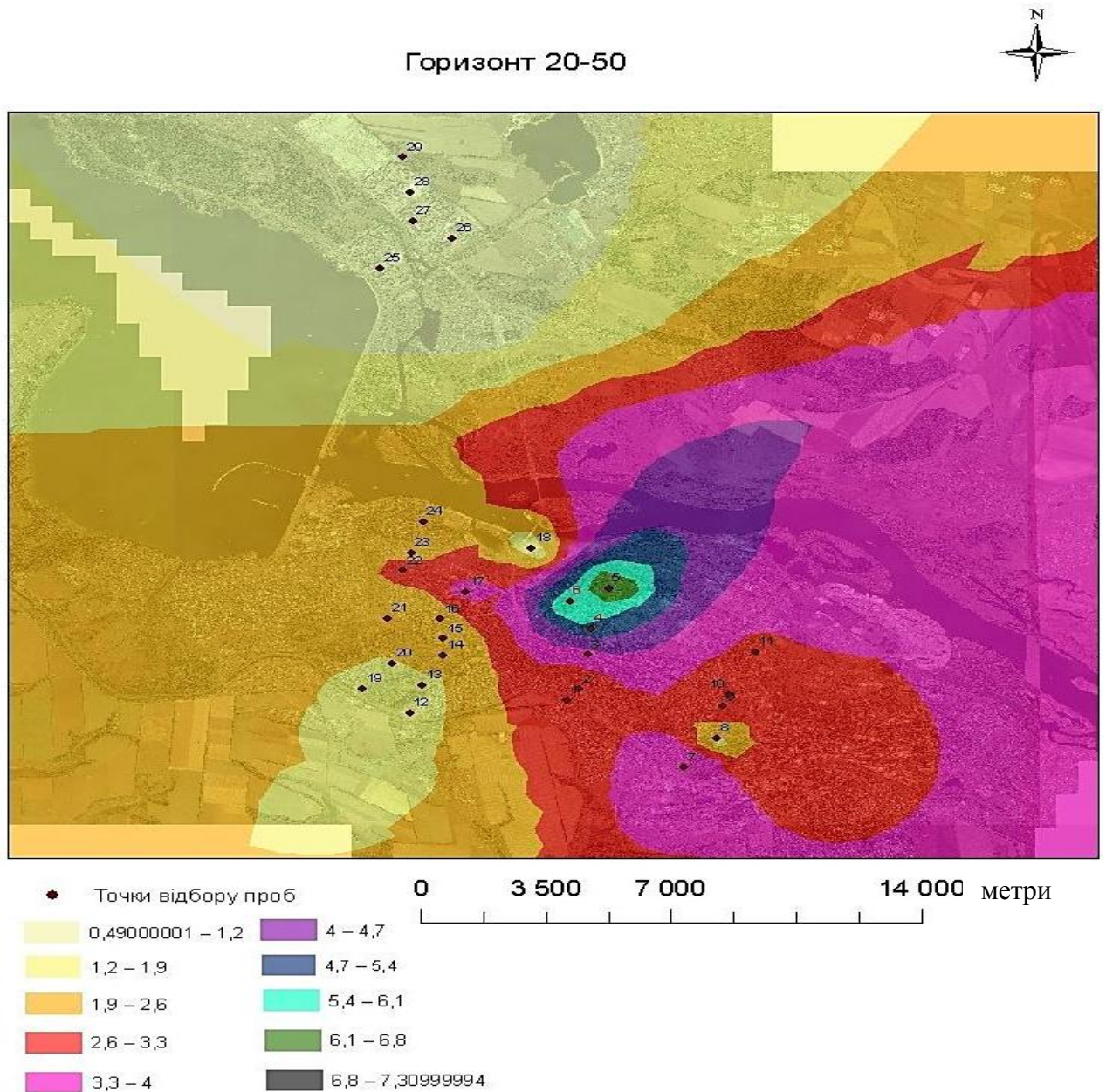


Рис. 7.6. Інтерполяція вмісту валових форм кадмію у ґрунтах м. Кам'янське (20-50 см)

В едафотопах центральної правобережної частини міста (ґрунтовий горизонт 20–50 см) спостерігається перевищення валової форми кадмію в діапазоні 7,3–4,7 мг/кг ґрунту, майже не змінюючи своєї конфігурації з попереднім

територіальним розподілом, проте ґрунти всієї східної частина міста характеризуються вмістом валової форми кадмію в діапазоні 3,3–4,0 мг/кг, що свідчить про незначне перевищення регіонального фону та ГДК та зниження вмісту кадмію за ґрунтовим профілем.

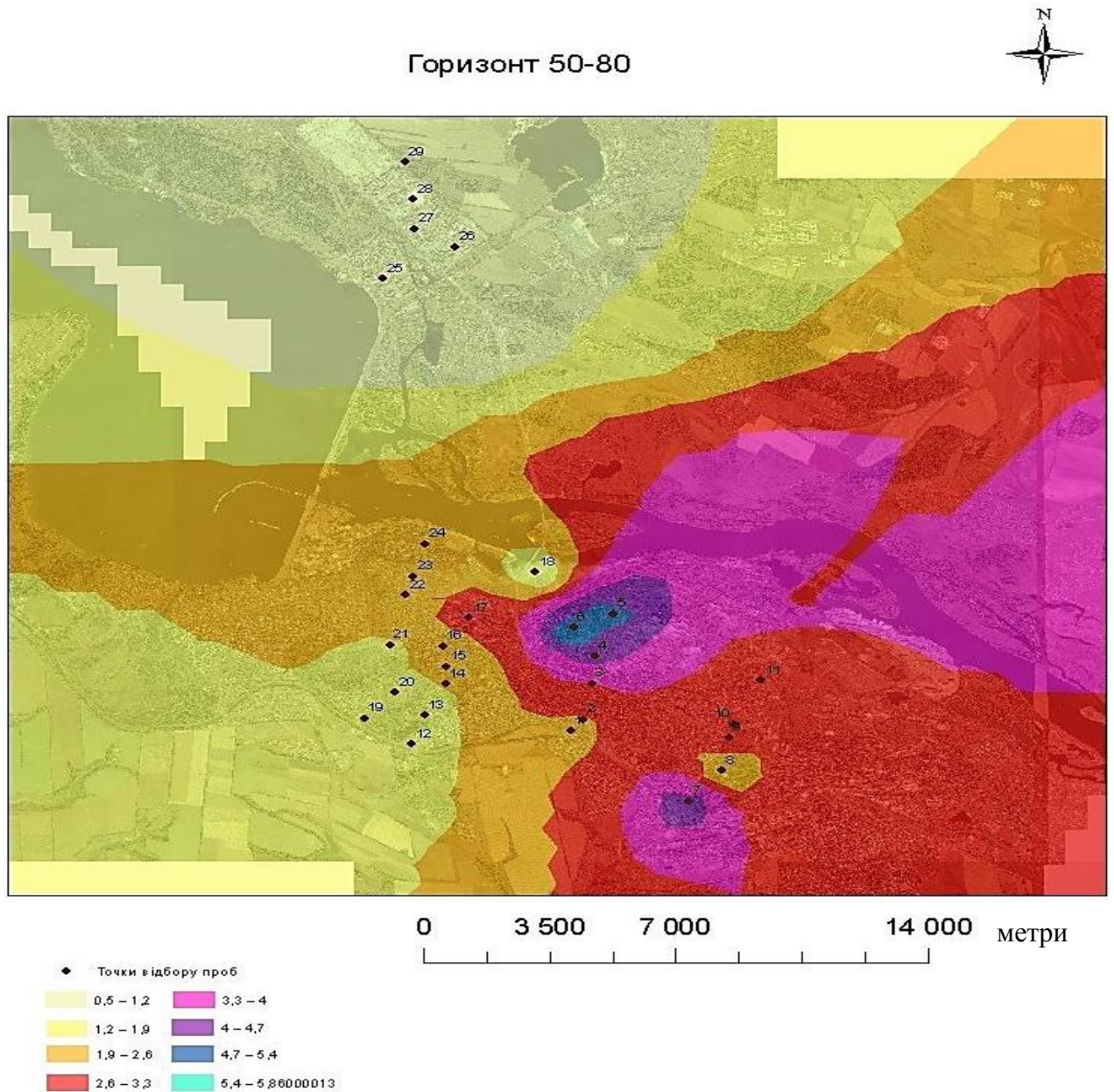


Рис. 7.7. Інтерполяція вмісту валових форм кадмію у ґрунтах м. Кам'янське (50-80 см)

Згідно проведеного моделювання едафотопи правобережної центральної частини Кам'янського характеризуються підвищеним вмістом валової форми кадмію у ґрунтовому горизонті 50–80 см. В районі екологічного профілю едафотопів

№ 2 (точки 3–6) вміст кадмію, ймовірно, буде варіювати в діапазоні 5,8–3,3 мг/кг ґрунту, саме концентрація кадмію 3,3–4,0 мг/кг, за нашими прогнозами, буде спостерігатись на значній частині території міста (як центру, так і сходу).

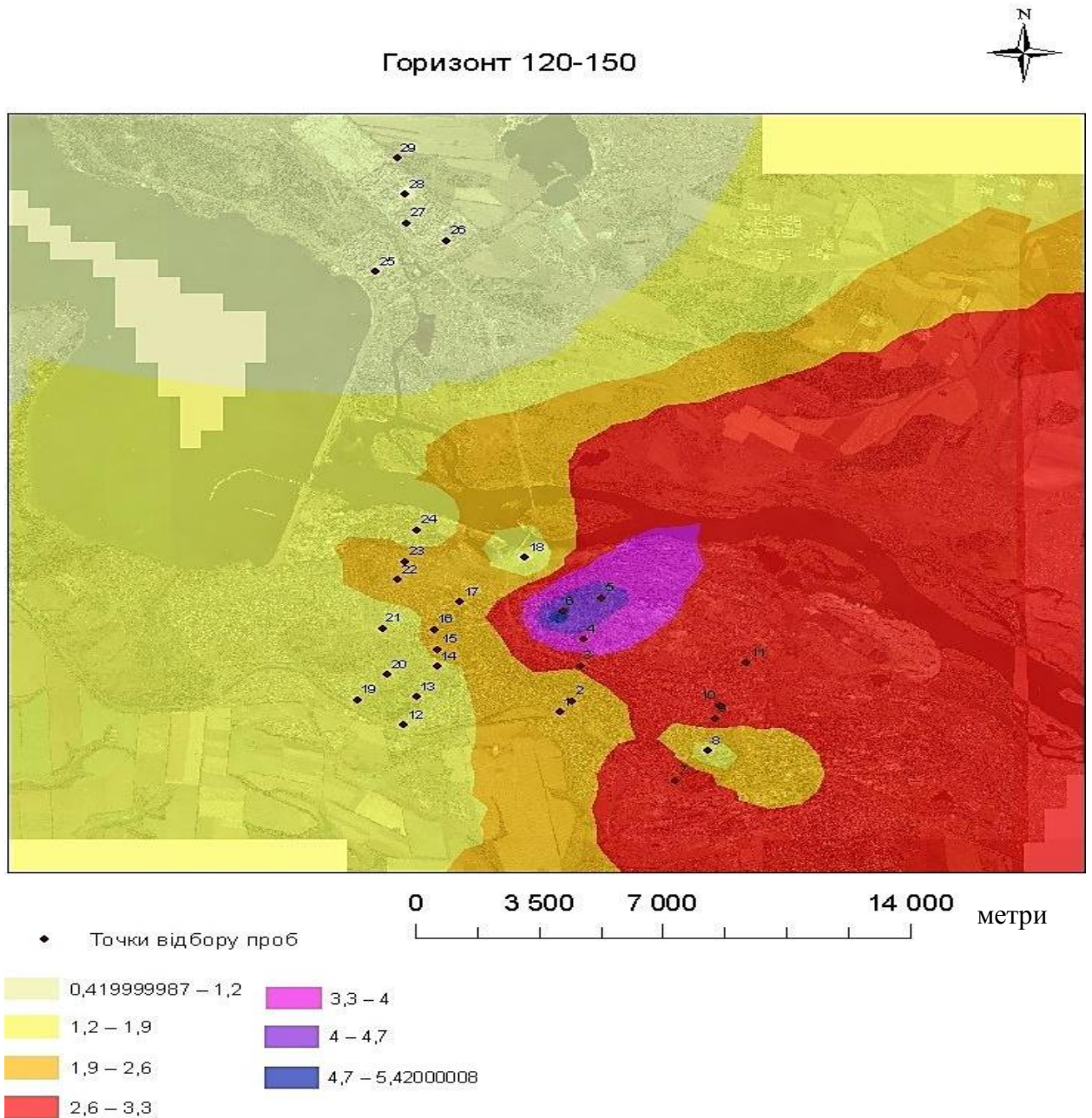


Рис. 7.8. Інтерполяція вмісту валових форм кадмію у ґрунтах м. Кам'янське (120–150 см)

Ґрунти міста шару 120–150 см, згідно проведеного територіального моделювання, будуть відрізнятися найменшою строкатістю: вміст валової форми кадмію залишиться в максимальному своєму значенні в центральній частині міста і

буде варіювати в діапазоні 5,4–4,0 мг/кг ґрунту. Едафотопи правобережної частини Кам'янського (південна, південно-східна та східна зони) будуть характеризуватися концентрації кадмію 3,3–2,6 мг/кг ґрунту, що практично не перевищує встановлений регіональний фон та ГДК.

Надамо більш детальний аналіз картам інтерполяції вмісту валових форм Cd за кожним досліджуваним генетичним горизонтом.

Згідно проведеного територіального прогнозу встановлено, що можливе перевищення вмісту валових форм кадмію в едафотопих урбанізованих територій в шарі 0–10 см відносно регіонального фону спостерігається у центральній частині міста – район т. 5 максимальне прогнозоване значення 6,8–7,59 мг/кг ґрунту та район т. 4 і 6 – 5,4–6,1 мг/кг ґрунту утворюють своєрідну колоподібну площинну конфігурацію. Далі, за нашими прогнозами, вміст валової форми кадмію дещо зменшиться і буде дорівнювати 4,7–5,4 мг/кг ґрунту в незначній центральній частині міста, маючи так само колоподібну площинну конфігурацію. Концентрація може варіювати в діапазоні 4,7–5,4 мг/кг ґрунту в центральній та східній частинах міста, а на значній частині урбанізованих територій, за нашими прогнозами, вміст валової форми кадмію у шарі 0–10 см ґрунту буде складати 3,3–4,0 та 2,6–3,3 мг/кг ґрунту, що свідчить про незначне забруднення едафотопів міста центральної та східної зон (екологічні профілі едафотопів № 1, 2 та частково 3, 4). Ґрунти західної частини міста можна вважати чистими, оскільки прогнозована концентрація буде складати 1,9–2,6; 1,2–1,9 мг/кг ґрунту правобережної частини міста (частково екологічні профілі едафотопів № 3, 4) та 0,57–1,2 мг/кг ґрунту лівобережної (екологічний профіль едафотопів № 5).

Вміст валової форми кадмію в едафотопих урбанізованих територій Кам'янського в ґрунтовому горизонті 20–50 см, за нашими прогнозами, в центральній частині (т.4, 5, 6) майже не змінить своєї конфігурації і залишиться в максимальних значеннях 6,8–7,3 та 5,4–6,1 мг/кг ґрунту. Концентрація кадмію 4,7–5,4 мг/кг ґрунту прогнозується на меншій території тільки центральної частини міста. Так само, як і в шарі ґрунту 0–10 см, максимальна площа східної частини міста буде характеризуватися концентрацією важкого металу 3,3–4,0 мг/кг ґрунту,

але збільшиться територія із умістом 2,6–3,3 мг/кг ґрунту, поєднавши між собою центральну та східну частини урбанізованих територій міста.

Едафотопи шару 50–80 см м. Кам'янське характеризуються, згідно наших прогнозів, наступним вмістом валової форми кадмію: 5,4–5,8; 4,7–5,4 мг/кг ґрунту в центральній частині міста, що складає значно меншу територію, порівняно з попередніми територіальними прогнозами. Так, вся східна та значна частина центральної території міста буде відзначатися вмістом Cd 3,3–4,0 та 2,6–3,3 мг/кг ґрунту (частково едафотопи екологічних профілів № 1, 2). Тоді як екологічні профілі едафотопів № 3, 4 і всі прилеглі до них території, згідно проведеного територіального прогнозування, будуть характеризуватися вмістом кадмію 1,9–2,6 мг/кг ґрунту (частково екологічні профілі № 3, 4); 1,2–1,9 мг/кг ґрунту (частково екологічні профілі № 3, 4) та значна площа правобережної західної частини міста. Стосовно вмісту кадмію в едафотопах екологічного профілю № 5 лівобережної частини міста, за нашими прогнозами, концентрація важкого металу буде становити 0,5–1,2 мг/кг ґрунту, як майже і на всій площі, окрім незначної території з вмістом Cd 1,2–1,9 мг/кг ґрунту.

Ґрунти міста шару 120–150 см, за нашими дослідженнями, будуть кваліфікуватися наступним вмістом кадмію: 4,7–5,4 мг/кг ґрунту в центральній частині (т. 6); 4,0–4,7 мг/кг ґрунту – колоподібна територія, що поєднує точки 5 і 6 екологічного профілю едафотопів № 2. За нашими територіальними прогнозами місцевості, вміст кадмію 3,3–4,0 мг/кг ґрунту, який буде характерний для території навколо т.4 і матиме еліпсоподібну форму. Значна частина центральних та східних зон міста буде відмічена наявністю концентрації кадмію 2,6–3,3 мг/кг ґрунту. Вміст валової форми кадмію у більшості районів міста буде характеризуватися вмістом валової форми Cd 1,9–2,6; 1,2–2,9 мг/кг ґрунту (включно екологічні профілі едафотопів № 3, 4) та 0,4–1,2 мг/кг ґрунту – лівобережна частина міста, включно екологічний профіль едафотопів № 5.

Використовуючи інструменти програмного модулю Spatial Analyst програмного забезпечення ArcGIS, проведено інтерполяцію отриманих результатів

варіювання концентрації кадмію у відповідних горизонтах ґрунту, що дозволило виявити зони вмісту рухомих форм кадмію (рис.7.9–7.12).

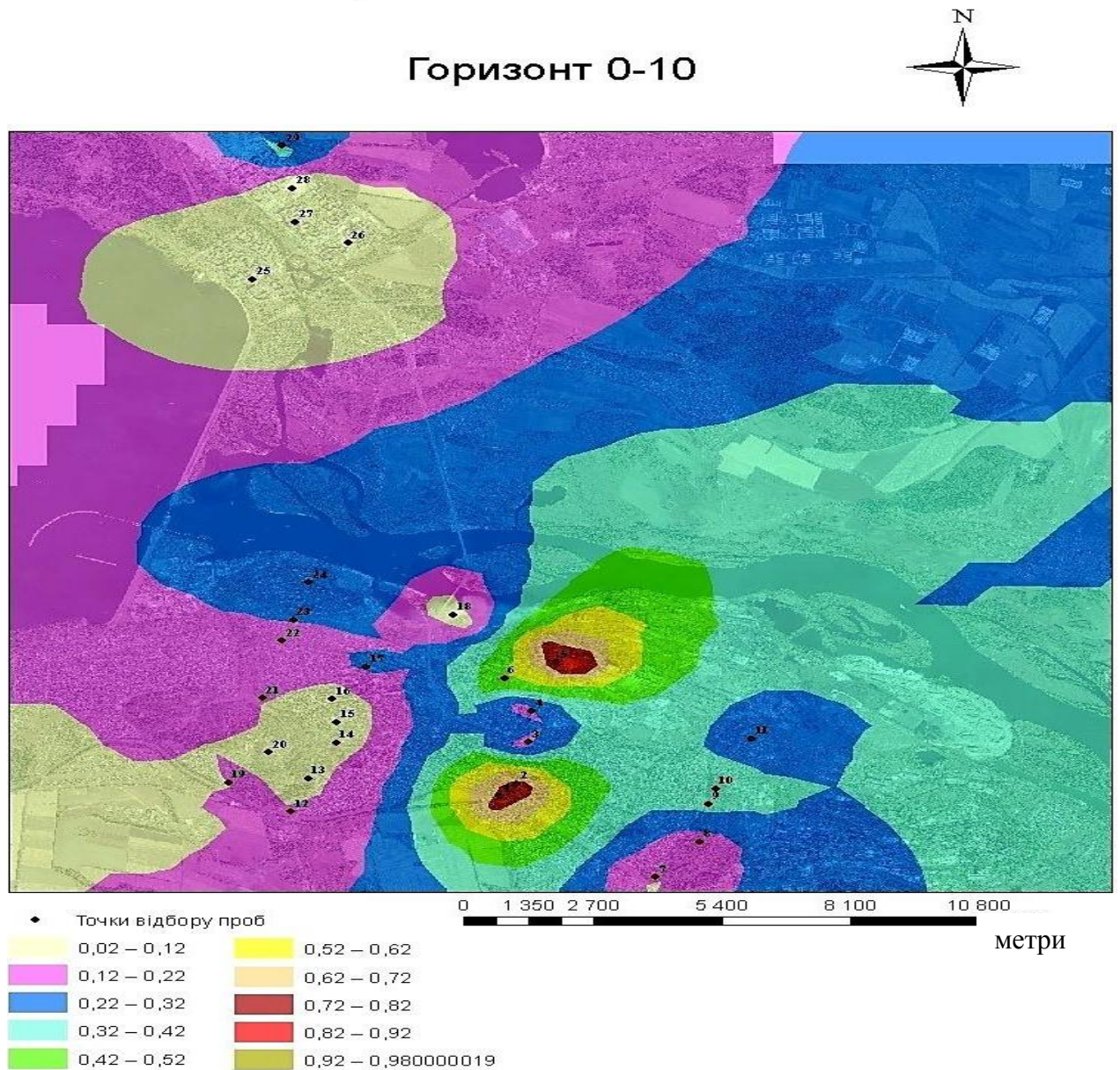


Рис. 7.9. Інтерполяція вмісту рухомих форм кадмію у ґрунтах м. Кам'янське (0–10 см)

Вміст рухомих форм кадмію відрізняється більшою строкатістю у порівнянні із вмістом валових форм, але тенденція залишається стабільною: перевищення регіонального фону, за результатами моделювання, спостерігається навколо екологічного профілю едафотопів № 2 правобережної частини міста: 0,72–0,98 мг/кг ґрунту.

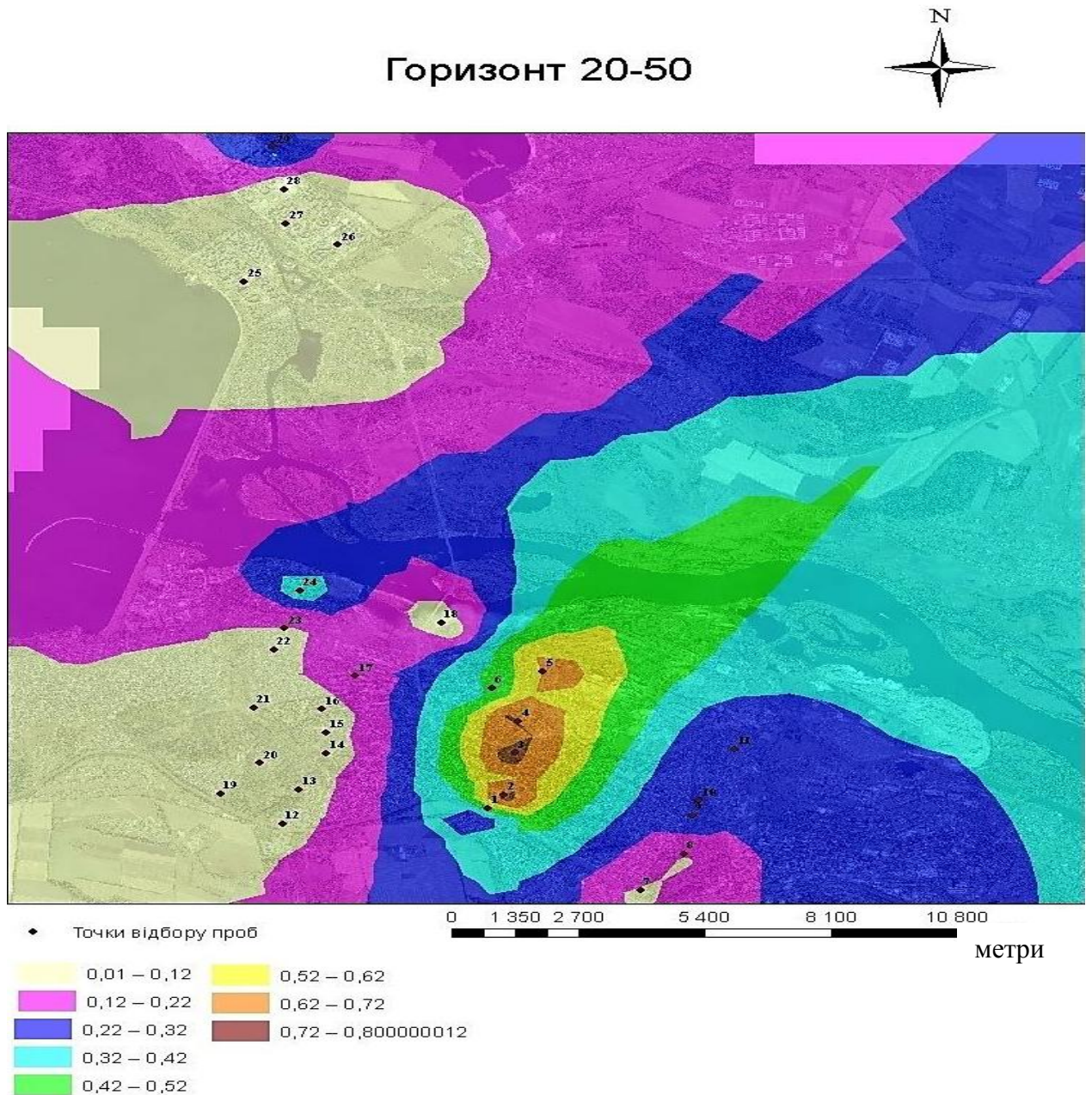


Рис. 7.10. Інтерполяція вмісту рухомих форм кадмію
у ґрунтах м. Кам'янське (20–50 см)

Вміст рухомих форм кадмію в едафотобах міста (ґрунтовий горизонт 20–50 см), згідно проведеного моделювання, буде варіювати в діапазоні 0,72–0,80 мг/кг ґрунту в центральній правобережній частині міста, ґрунти східної частина міста, які відрізнялась високим вмістом валової форми кадмію, за нашими прогнозами, будуть характеризуватися вмістом рухомих форм кадмію в діапазоні 0,22–0,32 мг/кг ґрунту, ці дані знаходяться в межах регіонального фону та ГДК.

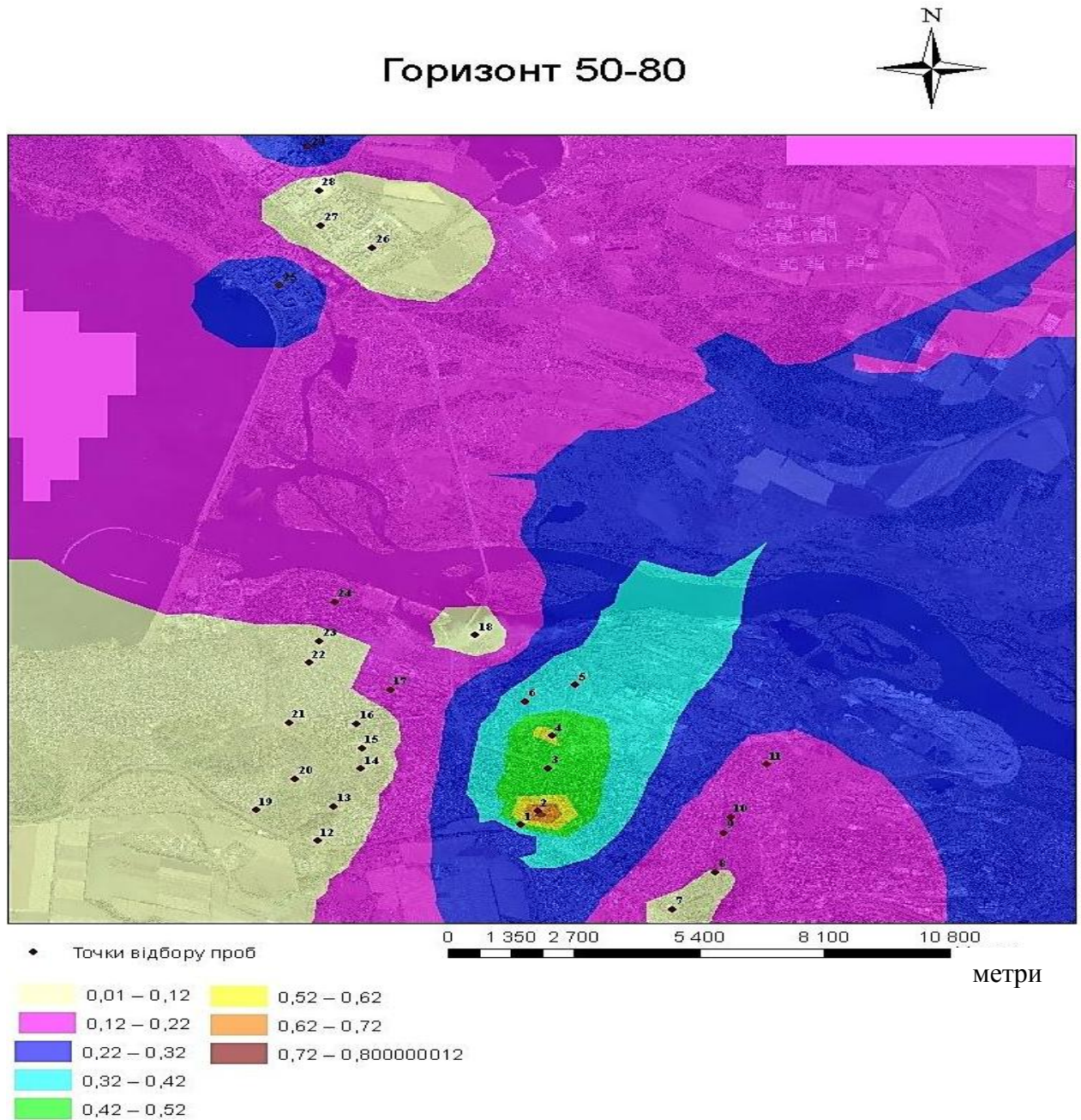


Рис. 7.11. Інтерполяція вмісту рухомих форм кадмію
у ґрунтах м. Кам'янське (50–80 см)

Моделювання вмісту рухомих форм кадмію в ґрунтовому горизонті 50–80 см свідчить про дуже незначне перевищення значення регіонального фону в районі точок 1 і 2 екологічного профілю едафотопів № 2. Так, згідно проведеного моделювання вздовж цього профілю концентрація рухомої форми кадмію буде варіювати в діапазоні 0,42–0,80 мг/кг ґрунту, значна територія правобережної

частини міста буде характеризуватися вмістом рухомих форм кадмію в діапазоні 0,22–0,32 мг/кг ґрунту.

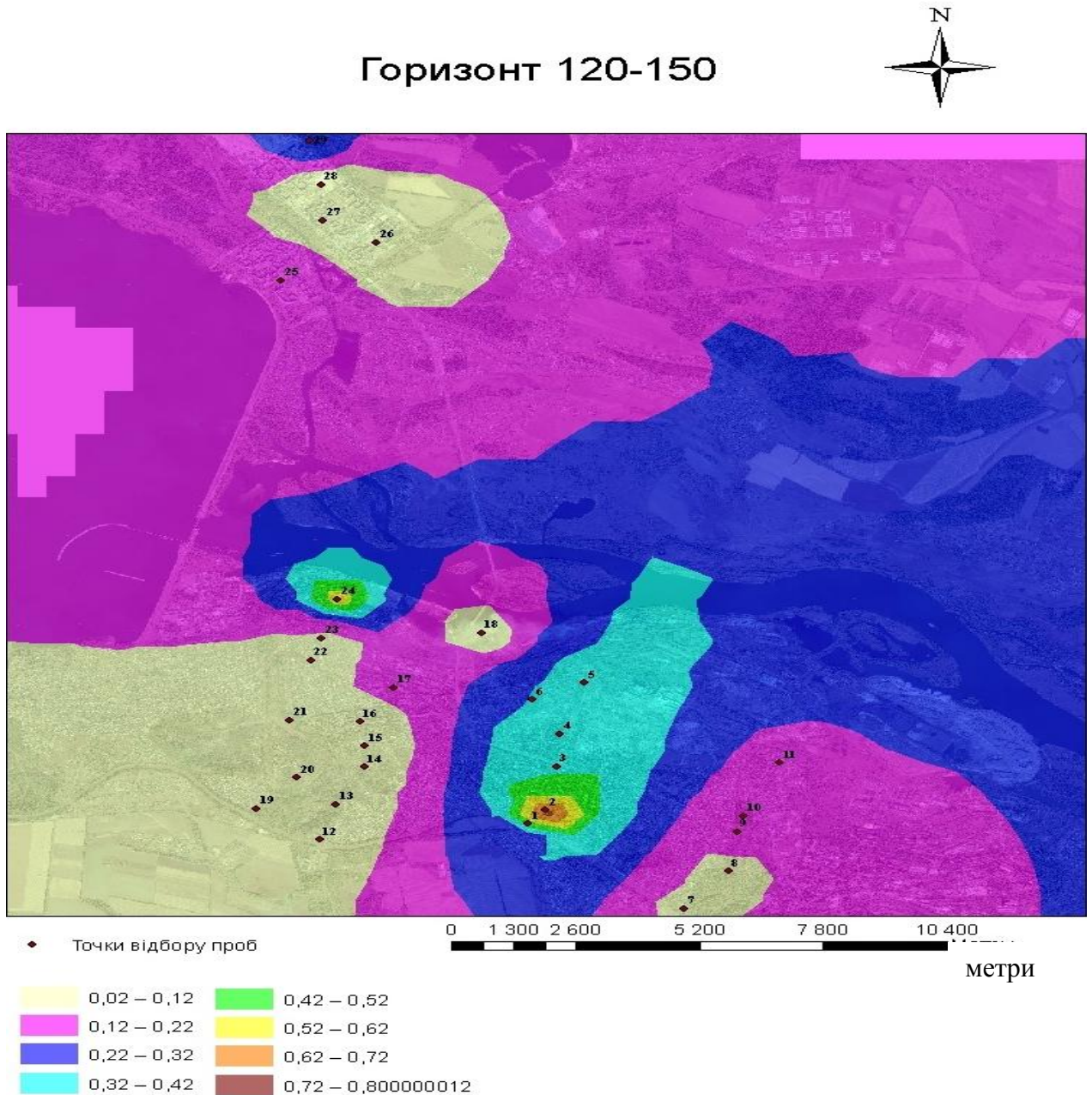


Рис. 7.12. Інтерполяція вмісту рухомих форм кадмію у ґрунтах м. Кам'янське (120–150 см)

Інтерполяція вмісту рухомих форм кадмію в едафотобах правобережної частини Кам'янського ґрунтового горизонту 120–150 см свідчить про аналогічне поведіння металу, порівняно з вищими ґрунтовими горизонтами: максимальне значення вмісту кадмію спостерігається навколо точок 1 і 2 екологічного профілю

едафотопів № 2 і складає 0,72–0,8 мг/кг ґрунту, та є єдиною зоною перевищення значення регіонального фону та ГДК.

Згідно проведеної інтерполяції вмісту рухомих форм кадмію в едафотопах урбанізованих територій встановлене можливе перевищення вмісту важкого металу в шарі 0–10 см відносно регіонального фону у центральній частині міста і варіює в межах – 0,92–0,98 (т. 5); 0,72–0,82 мг/кг ґрунту (т. 1, 2), відповідно.

Екологічний профіль едафотопів № 2 – центральна частина міста – район т. 1, 2, 5 максимальне прогнозоване значення вмісту Cd рухомої форми 0,72–0,82; 0,92–0,98; 0,82–0,92 мг/кг ґрунту, відповідно та утворюють дві своєрідні колоподібні конфігурації, навколо яких, в свою чергу, утворюються зони із прогнозованим вмістом кадмію 0,62–0,72; 0,52–0,62; 0,42–0,52 мг/кг ґрунту, відповідно. Далі, за нашими прогнозами, вміст рухомої форми Cd зменшиться і буде дорівнювати 0,32–0,42; 0,22–0,32 мг/кг ґрунту, відповідно, по всій території правобережної частини міста. Територія, що має форму кола, оточує екологічний профіль едафотопів № 5 і характеризується прогнозованим вмістом кадмію 0,02–0,12 мг/кг, виключення становить т. 29 – пробна ділянка сухуватого бору із ймовірним вмістом кадмію 0,32–0,42 мг/кг. Відмітимо, що всі прогнозовані концентрації рухомої форми кадмію, окрім максимальних значень, знаходяться в межах нормативних значень ГДК та регіонального фону.

Вміст рухомої форми кадмію в едафотопах урбанізованих територій міста в ґрунтовому горизонті 20–50 см, за нашими прогнозами, в центральній частині (т. 2, 3, 4) залишаться в своїх максимальних значеннях 0,72–0,8 мг/кг ґрунту. Загалом, вміст Cd на території навколо екологічного профілю едафотопів № 2, за нашими даними площинного моделювання, буде варіювати в діапазоні: 0,62–0,72; 0,42–0,52 мг/кг ґрунту, відповідно. У східній частині міста, згідно наших територіальних прогнозів, концентрація рухомої форми кадмію навколо екологічного профілю № 1 буде знаходитись в діапазоні від 0,01–0,12 до 0,12–0,22 (т. 7, 8) і 0,22–0,32 мг/кг ґрунту (т. 9–11), відповідно. Найбільші площі едафотопів урбанізованих територій східної частини, ймовірно, будуть характеризуватися вмістом рухомої форми кадмію 0,32–0,42 мг/кг ґрунту, у західній зоні правобережної та лівобережній

частинах Кам'янського прогнозується вміст рухомих форм досліджуваного мікроелементу в межах 0,01–0,22 мг/кг ґрунту.

Едафотопи міста урбанізованих територій шару 50–80 см характеризуються, згідно наших прогнозів, наступним вмістом рухомої форми кадмію: 0,62–0,72 в т. 2; 0,52–0,62 в т. 1 і 4; 0,42–0,52 в т. 3; 0,32–0,42 мг/кг ґрунту в т. 6 і 5, відповідно (екологічний профіль едафотопів № 2). Незначна частина східної та центральної зони міста правобережної та майже вся лівобережна частини відмічаються прогнозованим вмістом рухомої форми кадмію 0,12–0,22 мг/кг ґрунту. Правобережна західна частина міста, саме у якій було закладено екологічні профілі едафотопів № 3, 4 та частина лівобережної частини (частина екологічного профілю № 5) відрізняються, за нашими прогностичними даними, найменшим вмістом рухомої форми кадмію 0,01–0,12 мг/кг ґрунту.

Ґрунти міста шару 120–150 см, за нашими дослідженнями, будуть відзначатися наступним вмістом рухомої форми кадмію: 0,72–0,80; 0,62–0,72 мг/кг ґрунту в т. 1 і 2 центральної частини міста; 0,32–0,42 мг/кг ґрунту – територія еліпсоподібної форми всієї центральної зони Кам'янського. Майже вся західна та частково центральна частини міста характеризується вмістом Cd 0,32–0,42 мг/кг ґрунту, частина центру та сходу правобережної зони міста та вся лівобережна, ймовірно, відмічаються вмістом рухомої форми досліджуваного слідового елементу в кількості 0,12–0,22 мг/кг ґрунту. Найменшими концентраціями відзначаються правобережна західна та незначна за площею лівобережна частини міста (частково екологічні профілі едафотопів 3, 4, 5), вміст рухомої форми Cd шару 120–150 см складає 0,02–0,12 мг/кг ґрунту.

За проведеним територіальним моделюванням встановлено, що за рахунок помірного техногенного навантаження західної частини міста у ґрунтовому горизонті до 150 см спостерігається мінімальний вміст валової форми важкого металу – від 2 до 0,5 мг/кг, при цьому його вміст зменшується, а зони забруднення змінюють свою конфігурацію на рахунок зменшення вмісту кадмію з глибиною при розширенні меж від Самишиної балки та байраків Вовче Гирло.

Встановлено ділянки, з максимальним вмістом рухомої форми металу (понад 0,7 мг/кг). Відмічено, що такі пробні ділянки, розташовані відокремлено одна від одної на глибині до 10 см, на глибині до 50 см поєднуються, а глибше – майже зникають взагалі.

Згідно проведеного нами просторового аналізу вмісту кадмію в едафотопях м. Кам'янське встановлено аномальні зони на перетині проспектів Свободи, Шевченко та Гімназичного (точки 4 – 6, екологічний профіль едафотопів № 2), що підтверджують результати досліджень за ґрунтовими профілями.

Використовуючи геоінформаційні методи, стало можливим змоделювати певну територіальну 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 кадмію, наприклад, у діапазоні 4,7 – 5,4 мг/кг, не тільки в межах точки 3, а й на території, що має вигляд еліпсоїдної форми навколо точок 5 – 6.

Проведене нами територіальне моделювання результатів вимірів для всіх горизонтів свідчить про поступове зменшення за площею зони з більш високим концентраціями важкого металу у бік зниження його вмісту, змінюючи при цьому конфігурацію зони з певним вмістом кадмію.

Достатньо збіднені ґрунти та рослинний покрив у лівобережній частині міста безпосередньо впливають на рухомість досліджуваного важкого металу, що підтверджуються результатами інтерполяції рухомої форми Cd. Відмічається зменшення концентрації вмісту рухомих форм кадмію з глибиною ґрунтового профілю. В ґрунтових горизонтах правобережної частини міста вміст рухомої форми кадмію демонструє сталість умов надходження техногенного забруднення та пристосування міських біогеоценозів, що перебувають в умовах антропо-техногенного впливу до умов навколишнього середовища. Результати наших досліджень демонструють наявність гумусового горизонту в едафотопях урбанізованих територій як техногенного бар'єру.

Висновки по розділу:

1. Оцінка розподілу кадмію в едафотобах урбоекосистем за вертикальним ґрунтовим профілем (0-150см) та інтерполяція результатів за допомогою ГІС технологій в м. Кам'янське проводилась вперше.
2. Представлені математичні моделі вмісту валової форми кадмію у ґрунтах м. Кам'янське, складені рівняння множинної регресії. Характерною рисою для всіх математичних рівнянь вмісту валової форми кадмію в едафотобах міста є наявність високого позитивного коефіцієнту множинної кореляції.
3. З використанням інструментів програмного забезпечення ArcGIS модулю Spatial Analyst проведено інтерполяцію отриманих результатів варіювання концентрації кадмію у ґрунтовому горизонті (шар 0–150 см), що дозволило виявити аномальні зони вмісту валових форм кадмію.
4. Методом ординарного крігінга 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.
5. Згідно проведеного нами просторового аналізу вмісту кадмію в едафотобах м. Кам'янське встановлено аномальні зони на перетині проспектів Свободи, Шевченко та Гімназичного (точки 4 – 6), що підтверджують результати досліджень за ґрунтовими профілями.
6. Використовуючи геоінформаційні методи, стало можливим територіально змодельовати певну зону на північному кордоні профілю 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 межах точки 3, а й на території, що має вигляд еліпсоподібну форму навколо точок 5 – 6.

Основні публікації дисертанта за матеріалами розділу:

- 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 (особистий внесок: опрацьовано літературні джерела, оброблено матеріал, проаналізовано результати, здійснено переклад й оформлення для публікації) (*Scopus, Web of Science*).
- Гунько С. О. (2018). Застосування ПС технологій в оцінюванні розповсюдження кадмію в ґрунтах м. Кам'янське. *Екологічні науки*, 2(21), 218–223 (*Index Copernicus International*).

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 урбоєкосистем 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_{max}=1,84 рази) – Південний (1,02–6,54 мг/кг; ГДК_{max}=2,18 рази) – Заводський (1,57–7,58 мг/кг; ГДК_{max}=2,53 рази). Оцінка ступеня забруднення ґрунтів за коефіцієнтом концентрації Cd в едафотобах урбанізованих територій показує аналогічний ряд: помірний ($K_C = 2,62$) Дніпровський – сильний ($K_C = 3,51$) Південний – дуже сильний ($K_C = 4,27$) 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 едафотобах 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.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Агаркова, М. Г., Мелешева, Л. К., Строганова, М. Н. (1991). Морфологические особенности городских почв и их систематика. *Вестник МГУ. Почвоведение*, 17, 11–16.
2. Алексеенко В. А. (2000). *Экологическая геохимия*. Москва: Логос.
3. Аммосова, Я. М., Орлов Д. С., Садовников, Л. К., Аммосова Я. М. (1989). *Охрана почв от химического загрязнения*. Москва: МГУ.
4. Аринушкина, Е. В. (1970). *Руководство по химическому анализу почв*. Москва: МГУ.
5. Багрій, І. Д., Білоус, А. М., Вилкул, Ю. Г., Гожик, П. Ф. (2000). *Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська*. Київ: Фенікс.
6. Барг, І. М. (1997). *Нариси геологічної історії Дніпропетровщини*. Дніпропетровськ: «Альфа».
7. Балюк, С. А., Лазебна, М. Є. (2009). *Перелік основних нормативних документів у галузі ґрунтознавства, агрохімії та охорони ґрунтів*. Технічний комітет з стандартизації ТК 142 «Ґрунтознавство».
8. Батлук, В. А. (2001). *Основы экологии и охрана окружающей природной среды*. Львов: Афиша.
9. Бекаревич, Н. Е., Левищина, Н. И., Сонько, М. П. (1966). *Почвы Днепропетровской области и пути их рационального использования*. Днепропетровск: Промінь.
10. Белова, Н. А. (1997). *Экология, микроморфология, антропогенез лесных почв степной зоны Украины*. Днепропетровск: ДГУ.
11. Белова, Н. А., Травлеев, А. П. (1999). *Естественные леса и степные почвы*. Днепропетровск: ДГУ.
12. Бельгард, А. Л. (1971). *Степное лесоведение*. Москва: Лесная промышленность.
13. Бельгард, А. Л., Травлеев А. П. (1981). *Путеводитель по основным биогеоценозам Присамарья*. Днепропетровск: ДГУ.

14. Бессонова, В. П., Лыженко, И. И. (1985). Динамика микроэлементов в листьях древесных и кустарниковых пород в условиях промышленного предприятия. Днепропетровск: ДГУ.
15. Бессонова В. П. (1991). Морфофункциональные исследования растений в условиях загрязнения среды тяжелыми металлами. Днепропетровск: ДГУ.
16. Бессонова В. П. (1999). Индикация загрязнения окружающей среды тяжёлыми металлами по их накоплению в растениях. *Питання біоіндикації та екології*. 4, 11–21.
17. Бессонова В. П. (2001). *Методи фітоіндикації в оцінці екологічного стану довкілля: навчальний посібник з великого практикуму*. Запоріжжя: ЗДУ.
18. Бессонова, В. П. (2006). Влияние тяжелых металлов на фотосинтез растений. Днепропетровск: ДГАУ.
19. Бессонова, В. П., Зайцева, І. А. (2008). Вміст важких металів у листі дерев і чагарників в умовах техногенного забруднення різного походження. *Питання біоіндикації та екології*. 13(2), 1–17.
20. Бессонова, В. П., Іванченко, О. Є., Пономарьова О.А. (2015). Одночасний вплив важких металів (Pb^{2+} і Cd^{2+}) та засолення на стан асиміляційного апарату і вміст пігментів фотосинтезу пажитниці багаторічної. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*, 23(1), 15–20. doi:10.15421/011503
21. Беус, А. А., Грабовская, Л. И., Тишкова Н. В. (1976). *Геохимия окружающей среды*. Москва: Недра.
22. Білявський Г. О., Білявський, Р. С., Фурдуй, І. Ю., Костіков, Г. О. (2006). *Основи екології*. Київ: Либідь.
23. Большаков, В. А. (1985). К вопросу о механизме фиксации тяжелых металлов в почве. *Бюллетень Почвенного института*, 37, 44–52.
24. Булдаков, Д. С. (1966). Использование элементов теории корреляции в почвенных исследованиях. *Почвоведение*, 3, 45–53.
25. Вернадский, В. И. (1987). *Химическое строение биосферы Земли и ее окружения*. Москва: Наука.

26. Вернандер, Н. Б. (1966). *Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства*. Київ: Наукова думка.
27. Виноградов, А. П. (1950). *Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах*. Москва: АН СССР.
28. Виноградов, А. П. (1955) *Значение микроэлементов в организме человека и животных*. Москва: Знание.
29. Виноградов, А. П. (1962). Среднее содержание элементов в земной коре. *Геохимия*, (7), 555–557.
30. Вильямс, В. Р. (1947). *Почвоведение*. Москва: Сельхозгиз.
31. Войнар, А. И. (1960). *Биологическая роль микроэлементов в организме животных и человека*. Москва: Высшая школа.
32. Войнар, А. И. (1962). *Микроэлементы в живой природе*. М.: Высшая школа.
33. Воробьева, Л. А., Ладонин Д. В., Лопухина О. В., Рудакова Т. А., Кирюшин А. В. (2011). *Химический анализ почв*. Москва: МГУ.
34. Воронов, А. Г., Дроздов, Н. Н., Криволицкий, Д. А., Мяло, Е. Г. (1999). *Биогеография с основами экологии*. Москва: МГУ.
35. Глазовская, М. А. (1988). *Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР*. Москва: Высшая школа.
36. Глазовская, М. А. (1991). Теория геохимии ландшафтов в приложении к изучению техногенных потоков рассеяния и анализу способности природных систем к самоочищению. *Техногенные потоки веществ в ландшафтах и состояние экосистем*, 7–41.
37. Гришина, Л. А. (1990). *Влияние атмосферного загрязнения на свойства почв*. Москва: МГУ.
38. Гришко, В. М., Сишиков, Д. В., Піскова, О. М., Данильчук, О. В., Машталер, Н. В. (2012). *Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна небезпека*. Донецьк: Донбас.
39. Глинка, Н. Л. (2003). *Общая химия*. Москва: Наука.
40. Горб, А. С., Дук, Н. М. (2006). *Клімат Дніпропетровської області*. Дніпропетровськ: ДНУ.

41. Грицан, Ю. І. (2000). *Екологічні основи перетворюючого впливу лісової рослинності на степове середовище*. Дніпропетровськ: ДНУ.
42. Гуральчук, Ж. З. (2006). *Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії*. Київ: Логос.
43. Гуцуляк, В. М. (2004) *Геохімія ландшафту*. Чернівці: ЧДУ.
44. Дмитрук, Ю. М. (2004). До питання методики геохімічної характеристики ґрунтового покриву екосистем. *Агроекологічний журнал*, 4, 56–63.
45. Дмитрук, Ю. М. (2004). Еколого-геохімічний аналіз міграції і вмісту важких металів у ґрунтах елементарних ландшафтів. *Ґрунтознавство*, 5(3–4), 26–42.
46. Дмитрук, Ю. М. (2006). Біогеохімічна класифікація біогеоценозів (педоцентричний підхід). *Екологія та ноосферологія*, 17(1–2), 86–90.
47. Добровольский, В. В. (1983). *География микроэлементов. Глобальное рассеяние*. Москва: Мысль.
48. Добровольский, В. В. (1997). Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы. *Почвоведение*, 4, 431–441.
49. Добровольский, В. В. (1998). *Основы биогеохимии*. Москва: Высшая школа.
50. Добровольский, Г. В., Урусевская, И. С. (2004). *География почв*. Москва: «Колос».
51. Докучаев, В. В. (1936) *Русский чернозем*. Москва–Ленинград: «Огиз-Сельхозгиз».
52. Дриц, М. Е. (1985). *Свойства элементов*. Москва: Metallургия.
53. Дубина, А. А. (1977). Роль подстилки в жизни степного леса. *Вопросы степного лесоведения*, 8, 46–49.
54. Дуднікова, І. І., Пушкін, С. П. (2007). *Моніторинг довкілля*. Київ: ЄУ.
55. Жовинский, Э. Я., Кураева, И. В. (2002). *Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины*. Киев: Наукова думка.
56. Жук, Е. А. (2003). Использование показателей подвижности тяжелых металлов при эколого-геохимической оценке почв урбанизированных территорий. *Пошукова та екологічна геохімія*, 2–3, 82–84.

57. Зонн, С. В. (1983). *Современные проблемы генезиса и географии почв*. Москва: Наука.
58. Иванов, Ю. А., Пристер, Б. С., Бондарь, П. Ф. (1998). Концентрация тяжелых металлов в почве как фактор экологического нормирования *Агрохімія і ґрунтознавство: міжвідомчий тематичний збірник. Спеціальний випуск*, 81–82.
59. Иванько, И. А. (2001). Фитоклиматическая и биоэкологическая характеристика степных насаждений различных типов световых структур. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*, 9(2), 221–227.
60. Израэль, Ю. А. (1984). *Экология и контроль состояния природной среды*. Ленинград: Гидрометеиздат.
61. Ильин, В. Б. (1991). *Тяжелые металлы в системе растение–почва*. Новосибирск: Наука.
62. Ильин, В. Б. (1997). Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам. *Агрoхимия*, 4, 81–86.
63. Кабата-Пендиас, А., Пендиас, Х. (1989). *Микроэлементы в почвах и растениях*. Москва: Мир.
64. Кабата-Пендиас, А. (2005). Проблемы современной биогеохимии микроэлементов. *Российский химический журнал*, XLIX (3), 15–19.
65. Карпачевский, Л. О. (2005). *Экологическое почвоведение*. Москва: Геос.
66. Касимов, Н. С. (2002). Базовые концепции и принципы геохимии ландшафтов. *Геохимия ландшафтов и география почв*, 23–39.
67. Костишин, С. С., Руденко, С. С., Морозова, Т. В. (2008). *Основи загальної екології: практичний курс*. Чернівці: Книги.
68. Качинский, Н. А. (1970). *Физика почвы*. Москва: Высшая школа.
69. Клименко, Т. К. (2001). Техногенез як провідний фактор ґрунтоутворення в урболандшафтах (на прикладі м. Дніпродзержинська). *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 30, 164–169.

70. Клименко, Т. К. (2004). Особливості розповсюдження важких металів в ґрунтах урбоекосистем Придніпровського регіону (на прикладі м. Дніпродзержинська), *Вісник ДНУ. Біологія. Екологія*, 12(1), 72–75.
71. Клименко, Т. К. (2007). Біоекологічні особливості розподілу важких металів в урбосистемах промислового Дніпродзержинська *Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня к.б.н.* Дніпропетровськ.
72. Кліщенко, М. О. Прищеп, А. М., Вознюк Н. М. (2006). *Моніторинг довкілля*. Київ: «Академія».
73. Ковда, В. А., Зырин, Н. Г (1973). *Микроэлементы в почвах Советского Союза*. Москва: МГУ.
74. Ковда, В. А. (1985). *Биогеохимия почвенного покрова*. Москва: Наука.
75. Козак, І. П., Парпан, В. І., Парпан, Т. В., Козак Г. Г. (2013). *Ландшафтна екологія (сучасні підходи)*. Івано-Франківськ.
76. Корабльова, А. І., Чесанов, Л. Г., Шапар, А. Г. (2001). *Вступ до екологічної токсикології*. Дніпропетровськ.: Центр економічної освіти.
77. Коршиков, И. И. (1995). *Взаимодействие растений с техногенно загрязненной средой*. Киев: Наукова думка.
78. Кураева, И. В. (1997). Формы нахождения тяжелых металлов в почвах техногенно-загрязненных территорий, *Минералогический журнал*, 6, 53–57.
79. Кучерявий, В. П. (2000). *Екологія*. Львів: Світ.
80. Лакин, Г. Ф. (1990). *Биометрия*. Москва: Высшая школа.
81. Ловелиус, Н. В., Грицан, Ю. И. (2000). *Лесные экосистемы Украины и тепло- влагообеспеченность*. С.-Пб. ПАНИ.
82. Лукашев, К. И., Петухова, Н. Н. (1970). *Химические элементы в почвах*. Минск: Наука и техника.
83. Мартинова, Н. В., Лихолат, Ю.В. (2010). Акумуляція важких металів як один з критеріїв визначення ролі ґрунтопокривних рослин в оптимізації урбанізованого середовища. *Таврійський науковий вісник*, 71(2), 130-135.
84. Медведєва, О .В. (2004). Досвід класифікації міських ґрунтів Степової зони України. *Ґрунтознавство*, 5(1–2), 34–39.

85. Мицкевич, Б. Ф., (1971). *Геохимические ландшафты Украинского щита*. Київ: Наукова Думка.
86. Мицкевич, Б. Ф., Сущик, Ю. Я. (1981). *Основы ландшафтно-геохимического районирования*. Київ: Наукова Думка.
87. Мірзак, О. В. (2001). Досвід дослідження ґрунтів великих промислових міст степової зони України (на прикладі м. Дніпропетровськ). *Ґрунтознавство*, 1(1–2), 87–92.
88. Муха, В. Д., Сулима, А. Ф., Карпинец, Т. В., Левшаков Л. В. (1998). Соотношение содержания тяжелых металлов почве и почвообразующей породе как критерий оценки загрязненности почв. *Почвоведение*, 10, 1265–1270.
89. Надточій, П. П., Вольвач Ф. В., Гермашенко В. В. (1998). *Екологія ґрунту та його забруднення*. Київ: Аграрна наука.
90. Непошивайлено, Н. О., Зберовський, О. В., Карпенко, О. О., Галата А. В., Клименко, Т. К. (2011). Комплексні дослідження стану довкілля на території міста Дніпродзержинська з використанням ГІС-технологій. *Збірник наукових праць НГУ*, 36(1), 177–183.
91. Неструев, С. С. (1977). *Генезис и география почв*. Москва: Наука.
92. Одум, Ю. (1975). *Основы экологии*. Москва: Мир.
93. Орлов, Д. С. (1985). *Химия почв*. Москва: МГУ.
94. Пасічний, Г.Ф. (1992). *Фізична та екологічна географія Дніпропетровської області*. Дніпропетровськ: ДДУ.
95. Пасічний, Г. В., Сердюк, С. М. (2002). Геоекологічні моніторингові дослідження вмісту важких металів в ґрунтах техногенно змінених ландшафтів (на прикладі м. Дніпродзержинська. *Вісник Дніпропетровського університету. Геологія, географія*, 4, 161–166.
96. Пахомов, О. Є., Кунах О. М. (2005). *Функціональне різноманіття ґрунтової мезофауни заплавних степових лісів в умовах штучного забруднення середовища*. Дніпропетровськ: ДНУ.

97. Пащенко, В. М. (1989). Степова фізико-географічна зона. *Географічна енциклопедія України*, 3, 235–236.
98. Пейве, Я. В. (1961). *Биохимия почв*. Москва: Сельхозгиз.
99. Перельман, А. И. (1975). *Геохимия*. Москва: Высшая школа.
100. Польшов, Б. Б. (1956). *Учение о ландшафтах*. Москва: АН СССР.
101. Полупан, М. І., Соловей, В. Б., Величко, В. А. (2005). *Класифікація ґрунтів України*. Київ: Аграрна наука.
102. Протасова, Н. А., Щербакова, А. П., Копаева, М. Т. (1992). *Редкие и рассеянные элементы в почвах центрального Черноземья*. Воронеж: ВГУ.
103. Пучков, Л.А., Воробьев А. Е. (2000). *Человек и биосфера: вхождение в техносферу*. Москва: МГГУ.
104. Родин, Л. Е., Базилевич, Н. И. (1965). *Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара*. Ленинград: Наука.
105. Родин, Л. Е., Ремезов, Н. П., Базилевич, Н. И. (1968). *Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах*. Ленинград: Наука.
106. Савосько, В. Н. (2000). Экологическая роль геохимических барьеров в распределении аэротехногенных тяжелых металлов в почвах Кривбаса. *Вопросы биоиндикации и экологии*. 5, 145–153.
107. Савосько, В. Н. (2009). Локальное фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Криворожского железорудного региона. *Ґрунтознавство*, 10(3–4), 64–73.
108. Самчук, А. І., Кураєва, І. В., Войтюк, Ю. Ю., Матвієнко, О. В., Вовк, К. В. (2016). Форми знаходження важких металів у техногенно забруднених ґрунтах міських агломерацій. *Мінералогічний журнал*, 38(4), 66–73.
109. Сараненко И. И. (2004). О взаимосвязи микроэлементов (тяжелых металлов) с органическим веществом и гранулометрическим составом почв в условиях промышленного центра. *Вісник ДНУ: Біологія. Екологія*, 12(1), 158–162.

110. Сараненко, І. І. (2007). Вміст важких металів у корененасиченому шарі ґрунту лісових культурбіогеоценозів м. Кременчук. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 36, 37–43.
111. Сараненко, І. І. (2011). *Екологічні дослідження лісових культурбіогеоценозів м. Кременчука*. Кременчук: ПП Щербатих О.В.
112. Сердюк, С. Н. (2004). Опыт зонирования почвенного покрова урбоэкосистемы по степени загрязнения тяжелыми металлами. *Грунтознавство*, 5(1–2), 79–85.
113. Сердюк, С. Н. (2007). Диагностика загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова индустриально-урбанизированных территорий. *Екологія та ноосферологія*, 18(3–4), 133–138.
114. Смольянинов, И. И., Рябуха Е. В. (1971). *Круговорот веществ в природе*. Киев: Наука.
115. Стольберг, Ф. В. (2000). *Экология города*. Киев: Либра.
116. Стратегія розвитку міста Кам'янське на період до 2020 року. Рішення міської ради від 26.12.2014 №1162-58/VI.
117. Строганова, М. Н., Агаркова, М. Г. (1992). Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы). *Почвоведение*, 7, 1–16.
118. *Топографическая карта Днепропетровская область, 1:100000*. (1998). Киев: Киевская военно-картографическая фабрика.
119. Тихоненко, Д. Г. (2001). *Класифікація ґрунтів*. Харків: Харківський Національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва.
120. Тихоненко, Д. Г. (2010). Агрогенне ґрунтоутворення і класифікація ґрунтів. *Вісник ХНАУ. Грунтознавство*, 5, 5–10.
121. Травлеев, А. П., Сидельник, Н. А. (1966). *Научный отчет к схематической карте почвогрунтов г. Днепропетровска*. Днепропетровск: ДГУ.
122. Тюрин, И. В. (1937). *Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Учение о почвенном гумусе*. Москва–Ленинград: Сельхозгиз.

123. Узбек, И. Х., Шемавнев, В. И., Галаган, Т. И., Волох, П. В. (2007). Техногенные ландшафты как объект исследования. *Грунтознавство*, 8(3–4), 41–45.
124. Узбек, И. Х., Галаган, Т. И. (2008). Едафотопи техногенних ландшафтів як біокосні підсистеми. *Грунтознавство*, 9(1–2), 73–78.
125. Фатєєв, А. І., Пащенко, Я. В., Балюк, С. А. (2003). *Фоновий вміст мікроелементів в ґрунтах України*. Харків: ННЦ «ІГА імені О. Н. Соколовського».
126. Федоров, А. С. (1996). Особенности загрязнения тяжелыми металлами почв различного генезиса. *Вестник Санкт-Петербургского университета*, 3(1), 56–61.
127. Ферсман, А. Е. (1977). *Очерки по минералогии и геохимии*. Москва: Наука.
128. *Физико-географическое районирование Украинской ССР*. (1968). Киев: КГУ.
129. Фортескью, Дж. (1985). *Геохимия окружающей среды*. Москва: Прогресс.
130. Цветкова, Н. Н., Кабар, А. Н. (2001). Содержание и распределение в почвенном покрове Ботсада ДНУ подвижных форм микроэлементов. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 30, 104–111.
131. Цветкова, Н.М., Якуба, М.С. (2006). *Спектральний аналіз ґрунтів*. Дніпропетровськ: ДНУ.
132. Цветкова, Н. М., Якуба, М. С. (2008). *Біокругообіг речовин у біогеоценозах Присамар'я Дніпровського*. Дніпропетровськ: ДНУ.
133. Цветкова, Н. Н. (2013). *Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины*. Днепропетровск: Стенли.
134. Цветкова, Н. М., Дубина, А. О. (2016). Мікроелементна характеристика компонентів фітоценозів штучних протиерозійних лісових насаджень. *Відновлення біотичного потенціалу агроєкосистем Друга міжнародна науково-практична конференція*. (С. 69–72). Дніпро.
135. Цветкова, Н. М., Клименко, Т. К., Журавльова А. В. (2004). Закономірності розповсюдження свинцю в ґрунтах урбоекосистем в умовах інтенсивних

техногенних навантажень (на прикладі м. Дніпродзержинська). *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 33, 258–266.

136. Цветкова, Н. М., Клименко, Т. К. (2005). Техногенні аномалії важких металів у ґрунтах урболандшафтів степового Придніпров'я (на прикладі м. Дніпродзержинська). *Ґрунтознавство*, 6(1–2), 45–52.
137. Цветкова, Н. М., Тагунова, Є. О. (2015). Геохімічні бар'єри в розподілі мангану в едафотобах Присамаря Дніпровського. *Вісник ДНУ. Серія Біологія, екологія*, 23(1), 3–9.
138. Цветкова, Н. М., Пахомов, О. Є., Сердюк, С. М., Якуба, М. С. (2016). *Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Ґрунти. Метали у ґрунтах*. Дніпропетровськ: Ліра.
139. Цыганков, А. П. (1982). *Химия окружающей среды*. Москва: Химия.
140. Черняк, В. И., Глухохід, В. П. (1969). *Ґрунти Дніпропетровської області*. Дніпропетровськ: Промінь.
141. Чертко, Н. К., Ковальчик, Н. В., Хомич, В. С., Карпиченко, А. А., Жумарь, П. В., Тимофеева, Т. А. (2011). *Геохимия ландшафта*. Минск: БГУ.
142. Чмиленко, Ф. А., Смитюк, Н. М. (2001). О содержании подвижных форм тяжелых металлов в почве г. Днепропетровска. *Вісник ДНУ. Біологія. Екологія*, 9(2), 128–131.
143. Чорний, І. Б. (1995). *Географія ґрунтів з основами ґрунтознавства*. Київ: Вища школа.
144. Чугап, Н. С. (1973). *Климат и климатические ресурсы Днепропетровщины*. Днепропетровск: Днепропетровское отделение географического общества.
145. Швець, В. Я., Приходченко А. А. (1997). *Екологічні проблеми м. Дніпропетровська*. Дніпропетровськ: Виконавчий комітет Ради народних депутатів.
146. Школьник, М. Я. (1974). *Микроэлементы в жизни растений*. Ленинград: Наука.

147. Якуба, М. С. (2003). Характер та амплітуда біологічного кругообігу органіко-мінеральних речовин у штучних лісових біогеоценозах степу. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель*, 7(32), 99–105.
148. Якуба, М. С. (2006). Типологічні особливості накопичення важких металів у підстилці та опаді штучних насаджень Присамаря Дніпровського. *Екологія та ноосферологія*, 19(3–4), 67–76.
149. Якушевская, И. В. (1973). *Микроэлементы в природных ландшафтах*. Москва: МГУ.
150. Яловенко, А. С., Бессонова В. П. (2010). Характеристика паркових зон міста Запоріжжя. *Питання біоіндикації та екології*, 15(1).
151. Adriano, D. (2001). Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability, and Risks of Metals. *Springer Verlag*, New York.
152. An, J., Zheng, F., & Wang, B. (2014). Using Cs¹³⁷ technique to investigate the spatial distribution of erosion and deposition regimes for a small catchment in the black soil region, Northeast. *Catena*, 123, 243–251. doi: 10.1016/j.catena.2014.08.009
153. An, F., Li, H., Diao, Z., & Lv, J. (2018) The soil bacterial community in cropland is vulnerable to Cd contamination in winter rather than in summer. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(1), 114–125.
154. An, M., Hong, D., Chang, D., Wang, K., & Fan, H. (2020). Cadmium distribution and migration as influenced by polymer modifiers in a loam soil. *Revista de Chimie*, 71(4), 633–645.
155. Andersson, A., & Siman, G. (1991). Levels of Cd and some other trace elements in soils and crops as influenced by lime and fertilizer level. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 1, 3–11. <https://doi.org/10.1080/00015129109438579>
156. Autier, V., White, D., & Hazard, J. (2004) Examination of cadmium sorption characteristics for a boreal soil near Fairbanks, Alaska. *Journal of hazardous materials*, 106(2–3), 149–155. doi: 10.1016/j.jhazmat.2003.11.002
157. Bao, S.D. (2000). *Soil Agrochemical Analysis*. China Agriculture Press, Beijing.

158. Bashir, S., Hussain, Q., Zhu, J., FU, Q., Houben, D., & Hu, H. (2020). Efficiency of KOH-modified rice straw-derived biochar for reducing cadmium mobility, bioaccessibility and bioavailability risk index in red soil. *Pedosphere*, 30(6), 874–882. doi: 10.1016/S1002-0160(20)60043-1
159. Bastian, M., Heymann, S., & Jacomy, M. (2009). Gephi: An Open Source Software for Exploring and Manipulating Networks. International AAAI Conference on Weblogs and Social Media, San Jose.
160. Bielská, L., Hovorková, I., Kuta, J., Machát, J., & Hofman, J. (2017). The variability of standard artificial soils: cadmium and phenanthrene sorption measured by a batch equilibrium method. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 135, 17–23. doi: 10.1016/j.ecoenv.2016.09.015
161. Bigalke, M., Ulrich, A., Rehmus, A., & Keller, A. (2017). Accumulation of cadmium and uranium in arable soils in Switzerland. *Environmental Pollution*, 221, 85–93. doi: 10.1016/j.envpol.2016.11.035.
162. Biswas, T., Parveen, O., Pandey, V., P., Mathur A., Dwivedi, U., N. (2020). Heavy metal accumulation efficiency, growth and centelloside production in the medicinal herb *Centella asiatica* (L.) urban under different soil concentrations of cadmium and lead. *Industrial Crops and Products*, 157, 585–598. doi:10.1016/j.indcrop.2020.112948
163. Bolan, N., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Kumpiene, J., Park, J., Makino, T., Kirkham, M.B., & Scheckel, K. (2014) Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils—to mobilize or to immobilize? *Journal of Hazardous Materials*, 266, 141–166.
164. Borymski, S., Cycoń, M., Beckmann, M., Mur, L.A.J., & Piotrowska-Seget Z. (2018). Plant species and heavy metals affect biodiversity of microbial communities associated with metal-tolerant plants in metalliferous soils. *Frontiers in Microbiology*, 9, article 1425.
165. Borah, P., Singh, P., Rangan, L., Karak, T., & Mitra, S. (2018). Mobility, bioavailability and ecological risk assessment of cadmium and chromium in soils

- contaminated by paper mill wastes. *Groundwater for Sustainable Development*, 6, 189–199. doi: 10.1016/j.gsd.2018.01.002
- 166.** Boutron, C. F., & Gorlasch, U., (1991). Decrease in anthropogenic lead, cadmium and zinc in Greenland snows since late 1960s. *Nature*, 353, 153–156.
- 167.** Cao, X., Gao, X., Zeng, X., Ma, Y., Gao, Y., Baeyens, W., Jia, Y., Liu, J., Wu, C., & Su, S. (2021). Seeking for an optimal strategy to avoid arsenic and cadmium over-accumulation in crops: Soil management vs cultivar selection in a case study with maize. *Chemosphere*, 272, article 129891. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129891
- 168.** Codex Alimentarius Commission. (2018). *Joint FAO/WHO Food Standard Programme*. Codex Alimentarius Commission 41st Session. Rome, Italy.
- 169.** Chaney, R., Filcheva, E., Green, C., & Brown, S. (2006). Zn deficiency promotes Cd accumulation by lettuce from biosolids amended soils with high Cd:Zn ratio. *Journal of Residuals Science and Technology*. 3, 79–85.
- 170.** Chavez, E., He, Z. L., Stoffella, P.J., Mylavarapu, R. S., Li, Y.C., Moyano, B., & Baligar, V. C. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of The Total Environment*, 533, 205–214. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.106
- 171.** Chen, H. P., Zhang, W. W., Yang, X. P., Wang, P., McGrath, S. P., & Zhao, F. J. (2018). Effective methods to reduce cadmium accumulation in rice grain. *Chemosphere*, 207, 699–707/
- 172.** Cui, J., Wang, W., Peng, Y., Zhou, F., He, D., Wang, J., Chang Y., Yang J., Zhou J., Wang W., Yao, D., Du, F., Liu, X., & Zhao H. (2019). Effects of simulated Cd deposition on soil Cd availability, microbial response, and crop Cd uptake in the passivation-remediation process of Cd-contaminated purple soil. *Science of the Total Environment*, 683, 782–792.
- 173.** Davydova, N. D., Znamenskaya, T. I., & Lopatkin, D. A. (2014). Landscape-geochemical approach to solving problems of environmental pollution. *Contemporary Problems of Ecology*, 7(3), 345–352. doi: 10.1134/S1995425514030020

174. Degryse, F., Buekers, J., & Smolders, E. (2004). Radio-labile cadmium and zinc in soils as affected by pH and source of contamination. *European Journal of Soil Science*. 55. doi: 10.1046/j.1351-0754.2003.0554.x
175. Degryse, F., Smolders, E., & Merckx, R. (2006). Labile Cd complexes increase Cd availability to plants. *Environmental Science and Technology*. 40. doi: 10.1021/es050894t
176. Degryse, F., Smolders, E., Parker, D.R., 2009. Partitioning of metals (Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn) in soils: concepts, methodologies, prediction and applications – a review. *European Journal of Soil Science*. 60. doi: org/10.1111/j.1365-2389.2009.01142.x.
177. de Menezes, A. B., Prendergastmiller, M. T., Richardson A. E., Toscas, P., Farrell, M., Macdonald, L. M., Baker G., Wark,. T., & Thrall, P.H. (2014). Network analysis reveals that bacteria and fungi form modules that correlate independently with soil parameters. *Environmental Microbiology*, 17, 2677–2689.
178. Eichler, A., Tobler, L., Eyrikh, S., Malygina, N., Papina, T. & Schwikowski, M. (2014). Ice-core based assessment of historical anthropogenic heavy metal (Cd, Cu, Sb, Zn) emissions in the Soviet Union. *Environmental Science & Technology*, 48(5), 2635–2642. doi:10.1021/es404861n
179. Elouera, Z., Bouhamed, F., & Bouzid, J. (2014). Evaluation of different amendments to stabilize cadmium, zinc, and copper in a contaminated soil: influence on metal leaching and phytoavailability. *Soil. Sediment*, 23(6), 628–640.
180. European Commission. (2014). *Commission Regulation (EU) № 488/2014 of 12 May 2014 amending Regulation (EC) № 1881/2006 as regards maximum levels of cadmium in foodstuffs*. Official Journal of the European Union.
181. Evangelou, M.W., Daghan, H., & Schaeffer, A. (2004). The influence of humic acids on the phytoextraction of cadmium from soil. *Chemosphere*, 57, 207–213.
182. Fifi, U., Emmanuel, E., & Winiarski ,T. (2013). Assessing the mobility of lead, copper and cadmium in a calcareous soil of Port-au-Prince, Haiti. *International Journal Environmental*, 10 (11), 5830–5843.

183. Fijaikowski, K., Kacprzak, M., Grobelak, A., & Placek, A. (2012) The influence of selected soil parameters on the mobility of heavy metals in soil. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*, 15(1), 81–92.
184. François, M., Grant, C., Lambert, R., Sauv'ée, S. (2008). Prediction of cadmium and zinc concentration in wheat grain from soils affected by the application of phosphate fertilizers varying in Cd concentration. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 83, 125–133.
185. Fu, H., Zhang, B., Yang, J., Liu, H., Yang, S., & Zhao P. (2018). Cadmium and Lead speciation as affected by soil amendments in calcareous soil. *Environmental Engineering Science*, 35(9), 937–942.
186. Fu, T., Zhao, R., Hu, B., Jia, X., Wang, Z., Zhou, L., Huang, M., YanLi, Y., Shi, Z. (2021). Novel framework for modelling the cadmium balance and accumulation in farmland soil in Zhejiang Province, East China: Sensitivity analysis, parameter optimisation, and forecast for 2050. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123674. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123674
187. Ghafoor, A., Zia-ur-Rehman, M., Murtaza, G., & Muhammad, S. (2008). Fractionation and availability of cadmium to wheat as affected by inorganic amendments. *International Journal of Agriculture and Biology*, 10, 469–474.
188. Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A., & Groneberg, D. (2006). The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 1, 22–30. doi:10.1186/1745-6673-1-22
189. Gong, X., Huang, D., Liu, Y., Zeng, G., Wang, R., Wan, J., Zhang, C., Cheng, M., Qin, X., & Xue, W. (2017). Stabilized nanoscale zerovalent iron mediated cadmium accumulation and oxidative damage of *Boehmeria nivea* (L.) Gaudich cultivated in cadmium contaminated sediments. *Environmental Science & Technology*, 51(19), 11308–11316
190. Grobelak, A., Kacprzak, M., Grosser, A., & Napora, A. (2013). Chemofitostabilizacja gleby zanieczyszczonej kadmem, cynkiem i ołowiem. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 15 (1), 1982–2002.

191. Groenenberg, J.E., Dijkstra, J.J., Bonten, L.T.C., de Vries, W., Comans, R.N.J., 2012. Evaluation of the performance and limitations of empirical partition-relations and process based multisurface models to predict trace element solubility in soils. *Environmental Pollution*, 166, 98–107. doi: org/10.1016/j.envpol.2012.03.011
192. Guan, Q.Y., Zhao, R., Wang, F. F., Pan, N.H., Yang, L.Q., Song, N., Xu, C.Q., & Lin, J.K. (2019). Prediction of heavy metals in soils of an arid area based on multi-spectral data. *Journal of Environmental Management*, 243, 137–143.
193. Guo, K., Xiang, W., Zhou, W., Zhao, Y., Cheng, Y., & He, M. (2021). In situ plant bionic remediation of cadmium-contaminated soil caused by a high geological background in Kaihua, Zhejiang Province, China. *Chemosphere*, 269, 128693. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128693
194. Ha, H., Olson, J. R., Bian, L. & Rogerson, P. A. (2014). Analysis of heavy metal sources in soil using Kriging Interpolation on principal components. *Environmental Science & Technology*, 48(9), 4999–5007. doi: 10.1021/ es405083f
195. Harper, M. P., Davison, W., & Tych, W. (2000). DIFS – a modelling and simulation tool for DGT induced trace metal remobilisation in sediments and soils. *Environmental Modelling & Software*. 15, 55–66.
196. Hatch, D. J., Jones, L. H. P., & Burau, R. G. (1988). The effect of pH on the uptake of cadmium by four plant species grown in flowing solution culture. *Plant and Soil*, 105, 121–126.
197. He, D., Cui, J., Gao, M., Wang, W., Zhou, J., Yang, J., Wang, J., Li, Y., Jiang, C., & Peng, Y. (2019). Effects of soil amendments applied on cadmium availability, soil enzyme activity, and plant uptake in contaminated purple soil. *Science of the Total Environment*, 654, 1364–1371.
198. Huang, L., Wang, Q., Zhou, Q., Ma, L., Wu, Y., Liu, Q., Wang, S., & Feng, Y. (2020). Cadmium uptake from soil and transport by leafy vegetables: A meta-analysis. *Environmental Pollution*, 264, article 114677. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114677
199. Hussain, B., Muhammad Nadeem Ashraf, M. N., Rahman, S., Abbas, A., Li, J., & Farooq, M. (2021). Cadmium stress in paddy fields: Effects of soil conditions and

- remediation strategies. *Science of The Total Environment*, 754, article 142188. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142188
- 200.** Kabata-Pendias, A. (2004). Soil-plant transfer of trace elements – an environmental issue. *Geoderma*, 122, 143–149. doi: 10.1016/j.geoderma. 2004.01.004
- 201.** Kevin, J., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., & Lukas, N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. Redlands, CA: ESRI.
- 202.** Khan, M. A., Khan, S., Khan, A., & Alam, M. (2017). Soil contamination with cadmium, consequences and remediation using organic amendments. *Science of The Total Environment*, 601–602, 1591–1605. doi:10.1016/ j.scitotenv.2017.06.030
- 203.** Kim, H. S., Seo, B. H., Owens, G., Kim, Y. N., Lee, J. H., Lee, M., & Kim, K. R. (2020). Phytoavailability-based threshold values for cadmium in soil for safer crop production. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 201, 110866.
- 204.** Koegel-Knabner, I., Amelung, W., Cao, Z. H., Fiedler, S., Frenzel, P., Jahn, R., Kalbitz, K., Koelbl, A., & Schloter, M. (2010). Biogeochemistry of paddy soils. *Geoderma*, 157(1–2), 1–14.
- 205.** Krause, A. E., Frank, K. A., Mason, D. M., Ulanowicz, R. E., Taylor W. W. (2003). Compartments revealed in food-web structure. *Nature*, 426(6964), 282–285.
- 206.** Kumpiene, J., Brännvall, E., Wolters, M., Skoglund, N., Čirba, S., & Česlovas Aksamitauskas, V. (2016). Phosphorus and cadmium availability in soil fertilized with biosolids and ashes. *Chemosphere*, 151, 124–132. doi: 10.1016/j.chemosphere. 2016.02.069
- 207.** Kwiatkowska-Malina, J. (2018). Functions of organic matter in polluted soils: the effect of organic amendments on phytoavailability of heavy metals. *Applied Soil Ecology*, 123, 542–545.
- 208.** Larsson Jönsson, E. H., Asp, H. (2013). Effects of pH and nitrogen on cadmium uptake in potato. *Plant Biology*, 57, 788–792. doi:10.1007/s10535-013-0354-9
- 209.** Li, Y.-H., Chaney, R. L., Schneiter, A. A. (1994). Effect of soil chloride level on cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant and Soil*, 167, 275–280.

210. Li, P., Wang, X., Zhang, T., Zhou, D., & He, Y. (2008). Effects of several amendments on rice growth and uptake of copper and cadmium from a contaminated soil. *Journal of Environmental Sciences*, 20(4), 449–455
211. Li, Y., Zhang, X., Duan, B., & Yang, Y. (2013). Soil cadmium toxicity and nitrogen deposition differently affect growth and physiology in *Toxicodendron vernicifluum* seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(2), 529–540.
212. Li, Y., Dong, S., Qiao, J., Liang, S., Wu, X., Wang M., Zhao H., & Liu, W. (2020). Impact of nanominerals on the migration and distribution of cadmium on soil aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121355
213. Li, F., Zheng, Y., Tian, J., Ge, F., Liu, X., Tang, Y., & Feng, C. (2019). *Cupriavidus* sp. strain CdO₂-mediated pH increase favoring bioprecipitation of Cd²⁺ in medium and reduction of cadmium bioavailability in paddy soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 184, 109655.
214. Li, L., Wang, S., Li, X., Li, T., He, X., Tao Y. (2018). Effects of *Pseudomonas chenduensis* and biochar on cadmium availability and microbial community in the paddy soil. *Science of the Total Environment*, 640, 1034–1043.
215. Liang, X., Liu, X.W., Wu, W.C., Li, J., Fang, X. H., Li, Y. B., & Chen, X. B. (2015). The Distribution Characteristic of Heavy Metals in Farmland Around Electronic Waste Slag. *Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 24(10), 1718–1724.
216. Lin, Z., Schneider, A., Sterckeman, T., Nguyen, C. (2016). Ranking of mechanisms governing the phytoavailability of cadmium in agricultural soils using a mechanistic model. *Plant and Soil*, 399, 89–107. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2663-6>
217. Liu, L., Li, J., Yue, F., Yan, X., Wang, F., Bloszies, S., & Wang, Y. (2018). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on maize growth, cadmium uptake and soil cadmium speciation in Cd-contaminated soil. *Chemosphere*, 194, 495–503. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.12.025
218. Lu, J., Yang, X., Meng, X., Guoqing Wang, G., Yusuo Lin, Y., Wang, Y., & Zhao, F. (2017). Predicting Cadmium safety thresholds in soils based on Cadmium uptake

- by Chinese cabbage. *Pedosphere*, 27(3), 475–481. doi: 10.1016/S1002-0160(17)60343-6
- 219.** Lu, M., Xu, K., Chen, J. (2013). Effect of pyrene and cadmium on microbial activity and community structure in soil. *Chemosphere*, 91(4), 491–497.
- 220.** Lu, R. K. (2000) The Analysis Method of Soil Agricultural Chemistry. *China Agricultural Sciences and Technology Press*, Beijing.
- 221.** Lu, Q. (2020). Insights into the remediation of cadmium-pyrene co-contaminated soil by electrokinetic and the influence factors. *Chemosphere*, 254, 126861. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126861
- 222.** Luo, H., Du, P., Shi, J., Yang, B., Liang T., Wang, P., Chen, J., Zhang, Y., He, Y., Jia, X., Duan, G., & Li, F. (2021). DGT methodology is more sensitive than conventional extraction strategies in assessing amendment-induced soil cadmium availability to rice. *Science of The Total Environment*, 760, article 143949. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143949
- 223.** Ma, C., Ci, K., Zhu, J., Sun, Z., Liu, Z., Li, X., Zhu, Y., Tang, C., Wang, P., & Liu, Z. (2021). Impacts of exogenous mineral silicon on cadmium migration and transformation in the soil-rice system and on soil health. *Science of The Total Environment*, 759, article 143501. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143501
- 224.** McCauley, A., Jones, C., & Jacobsen, J. (2009). *Soil pH and organic matter*. Nutrient Management Modules 8, № 4449-8. Montana State University Extension Service, Bozeman, Montana, 1–12.
- 225.** Meharg, A. A., Norton, G., Deacon, C., Williams, P., Adomako, E. E., Price, A., Zhu, Y. G., Li, G., Zhao, F. J., McGrath, S., Villada, A., Sommella, A., De Silva, P. M. C. S., Brammer, H., Dasgupta, T., & Islam, M. R. (2013). Variation in Rice Cadmium Related to Human Exposure. *Environmental Science & Technology*, 47(11), 5613–5618.
- 226.** Menezes-Blackburn, D., Sun, J., Lehto, N.J., Zhang, H., Stutter, M., Giles, C. D., Darch, T., George, T. S., Shand, C., Lumsdon, D., Blackwell, M., Wearing, C., Cooper, P., Wendler, R., Brown, L., Al-Kasbi, M., Haygarth, P. M. (2019). Simultaneous quantification of soil phosphorus labile Pool and desorption kinetics

- using DGTs and 3D-DIFS. *Environmental Science & Technology*. 53, 6718–6728. doi:10.1021/acs.est.9b00320
- 227.** Mertoglu, B., Semerci, N., Guler, N., Calli, B., Cecen, F., & Saatci A. M. (2008). Monitoring of population shifts in an enriched nitrifying system under gradually increased cadmium loading. *Journal of Hazardous Materials*, 160(2–3), 495–501.
- 228.** Mo, X., Siebecker, M. G., Gou, W., Li, L., & Li, W. (2021). A review of cadmium sorption mechanisms on soil mineral surfaces revealed from synchrotron-based X-ray absorption fine structure spectroscopy: Implications for soil remediation. *Pedosphere*, 31(1), 11–27. doi: 10.1016/S1002-0160(20)60017-0
- 229.** Mu'azu, N. D., Haladu, S. A., Jarrah, N., Zubair, M., Essa, M. H., & Ali, S. A. (2018). Polyaspartate extraction of cadmium ions from contaminated soil: Evaluation and optimization using central composite design. *Journal of Hazardous Materials*, 342, 58–68. doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.08.013
- 230.** Mullins, G.L., Sommers, L.E., Barber, S.A. (1986). Modeling the plant uptake of cadmium and zinc from soils treated with sewage sludge. *Soil Science Society of America Journal*, 50, 1245–1250.
- 231.** Navari-Izzo, F., Rascio, N. (2010). Heavy Metal Pollution: Damage and Defense Strategies in Plants. *Handbook of Plant and Crop Stress*. 635–674.
- 232.** Pardo, T., Clemente, R., Alvarenga, P., & Bernal, M.P. (2014). Efficiency of soil organic and inorganic amendments on the remediation of a contaminated mine soil: biological and ecotoxicological evaluation. *Chemosphere*, 107, 101–108.
- 233.** Pan, J., & Yu, L. (2011). Effects of Cd or/and Pb on soil enzyme activities and microbial community structure. *Ecological Engineering*, 37, 1889–1894.
- 234.** Pizzol, M., Smart, J., & Thomsen, M. (2014). External costs of cadmium emissions to soil: a drawback of phosphorus fertilizers. *Journal of Cleaner Production*, 84, 475–483. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.12.080
- 235.** Prokop, Z., Cupr, P., Zlevorova-Zlamalikova, V., Komarek, J., Dusek, L., & Holoubek, I. (2003). Mobility, bioavailability, and toxic effects of cadmium in soil samples. *Environmental Research*, 91(2), 119–126. doi: 10.1016/S0013-9351(02)00012-9

- 236.** Qi, F., Dong, Z., Naidu, R., Bolan, N.S., Lamb, D., Ok, Y.S., Liu, C., Khan, N., & Semple, K. T. (2017). Effects of acidic and neutral biochars on properties and cadmium retention of soils. *Chemosphere*, 180, 564–573. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.04.014
- 237.** Qiu, K., Zhao, L., An, Y., Li, X., & Zhang, Z. (2021). Stable and efficient immobilization of Lead and Cadmium in contaminated soil by Mercapto iron functionalized nanosilica. *Chemical Engineering Journal*, available online, article 128483. doi: 10.1016/j.cej.2021.128483
- 238.** Radovanović, M., Vasiljević, D., Krstić, D., Antić, I., Korzhyk, O., Stojanović, G., & Škrbić, B. D. (2019). Flexible sensors platform for determination of cadmium concentration in soil samples. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, article 105001. doi: 10.1016/j.compag.2019.105001
- 239.** Radojčić Redovniković, I., De Marco, A., Proietti, C., Hanousek, K., Sedak, M., Bilandžić, N., & Jakovljević, T. (2017). Poplar response to cadmium and lead soil contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 144, 482–489. doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.06.011
- 240.** Rafati, M., Moattar, F., Khorasani, N., Shirvany, A., Moraghebi, F., & Hosseinzadeh, S. (2011). Phytoremediation potential of *Populus alba* and *Morus alba* for cadmium, chromium and nickel absorption polluted soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 5(4), 961–970.
- 241.** Raiesi, F., Razmkhah, M., & Kiani, S. (2018). Salinity stress accelerates the effect of cadmium toxicity on soil N dynamics and cycling: Does joint effect of these stresses matter? *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 153, 160–167. doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.01.035
- 242.** Razanov, S. F. (2018) Effect of bean perennial plants growing on soil heavy metal concentrations. *Ukrainian Journal of Ecology*. 8(2), 294–300 doi: 10.15421/2018_341
- 243.** Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P., & O'Connor, P. (2014). *Chemistry of Europe's Agricultural Soils*. Part A. Methodology and Interpretation of

the GEMAS Data Set, Geol. Jb. B 102. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover.

244. Robinson, B.H. (2009). E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 408, 183–191.
245. Ruehrwein, R. A., & Ward D. W. (1952). Mechanism of clay aggregation by polyelectrolytes *European Journal of Soil Science*, 73, 485–492.
246. Sakizadeh, M., Antonio, J., & Martín, R. (2021). Spatial methods to analyze the relationship between Spanish soil properties and cadmium content. *Chemosphere*, 268, article 129347. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129347
247. Salehi, N., Azhdarpoor, A., & Shirdarreh, M. (2020). The effect of different levels of leachate on phytoremediation of pyrene-contaminated soil and simultaneous extraction of lead and cadmium. *Chemosphere*, 246, article 125845. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.125845
248. Salmanzadeh, M., Schipper, L. A., Balks, M. R., Hartland, A., Mudge, P. L., & Littler, R. A. (2017). The effect of irrigation on cadmium, uranium, and phosphorus contents in agricultural soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 247, 84–90. doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.028
249. Santos, F., van Gestel, C., & Amorim, M. (2021). Toxicokinetics of copper and cadmium in the soil model *Enchytraeus crypticus* (Oligochaeta). *Chemosphere*, 270, article 129433. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.129433
250. Sauvé, S., Hendershot, W., & Allen, H. E. (2000). Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: dependence on pH, total metal burden, and organic matter. *Environmental Science & Technology*, 34, 1125–1131.
251. Sears, M. E., Kerr, K.J., & Bray, R. I. (2012). Arsenic, Cadmium, Lead, and Mercury in Sweat: A Systematic Review. *Journal of Environmental and Public Health*, 184745, 10 pages. doi:10.1155/2012/184745
252. Seshadri, B., Bolan, N. S., Wijesekara, H., Kunhikrishnan, A., Thangarajan, R., Qi, F., Matheyarasu, R., Rocco, C., Mbene, K., & Naidu, R. (2016). Phosphorus-cadmium interactions in paddy soils. *Geoderma*, 270, 43–59. doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.11.029

253. Shahriari, F., & Higashi, T. (2014). Effects of the addition of humic substances on soil protease activities in andosols in the presence of cadmium. *Soil and Sediment Contamination*. 23 (8), 869–886.
254. SHAC (State Health Administration of China). (2012). *Maximum Levels of Cd in Foods* (GB2762-2012). Standards Press of China, Beijing.
255. Shi, W., & Ma, X. (2017). Effects of heavy metal Cd pollution on microbial activities in soil. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 24, 722–725.
256. Song, W. Y., Park, J., Eisenach, C., Maeshima, M., Lee, Y., & Martinoia, E. (2014). *ABC transporters and heavy metals*. *Plant ABC Transporters*. Springer, 1–17.
257. Sparrow, L. A., Salardini, A. A., & Bishop, A. C. (1993). Field studies of cadmium in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). I. Effects of lime and phosphorus on cv. Russet Burbank. *Aust. Journal of Agricultural Research*, 44, 845–853.
258. Sterckeman, T., Perriguet, J., Cael, M., Schwartz, C., Morel, J. L. (2004). Applying a mechanistic model to cadmium uptake by *Zea mays* and *Thlaspi caerulescens*: consequences for the assessment of the soil quantity and capacity factors. *Plant and Soil*, 262, 289–302.
259. Tang, J., Zhang, L., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Zheng, Y., Luo, L., Yang, Y., Huang, H., & Chen, A. (2020) Physicochemical features, metal availability and enzyme activity in heavy metal-polluted soil remediated by biochar and compost. *Science of the Total Environment*, 701, article 134751.
260. Van Den Brink, N.W., Lammertsma, D.R., Dimmers, W.J., & Boerwinkel, M.C. (2011). Cadmium accumulation in small mammals: species traits, soil properties, and spatial habitat use. *Environmental Science & Technology*, 45(17), 7497–7502.
261. Viala, Y., Sappin-Didier, V., Bussière, S., Coriou, C., & Nguyen, C. (2021). Simple models efficiently predict free cadmium Cd^{2+} in the solutions of low-contaminated agricultural soils. *Science of The Total Environment*, available online, 146428. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146428
262. Violante, A., Cozzolino, V., Perelomov, L., Caporale, A.G., & Pigna, M. (2010). Mobility and bioavailability of HM and metalloids in the soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 10 (3), 268–292.

263. Volesky, Z. R., & Holan, A. (1995). Biosorption of heavy metals. *Biotechnology Progress*, 11, 235–250. doi:10.1021/bp00033a001
264. Welikala, D., Robinson, B. H, Moltchanova, E., Hartland, A., & Lehto, N.J. (2021). Soil cadmium mobilisation by dissolved organic matter from soil amendments. *Chemosphere*, 271, 129536. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.129536
265. Wang, L., Jia, X., Zhao, Y., Zhang, C. Y., Gao, Y., Li, X., Cao, K., & Zhang, N. (2021). Effects of elevated CO₂ on arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Robinia pseudoacacia* L. grown in cadmium-contaminated soils. *Science of The Total Environment*, 768, article 144453. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144453
266. Warwick, P., Hall, A., Pashley, V., Van Der Lee, J., & Maes, A. (1999). Zinc and cadmium mobility in podzol soils. *Chemosphere*, 38 (10), 2357–2368.
267. Weng, L. P., Van Riemsdijk, W. H., Hiemstra, T. (2012). Factors controlling phosphate interaction with iron oxides. *Journal of Environmental Quality* 41, 628–635. doi: org/10.2134/ jeq2011.0250.
268. Wigganhauser, M., Aucour, A.-M., Bureau, S., Campillo, S., Telouk, P., Romani, M., Ma, J. F., Landrot, G., & Sarret, G. (2021). Cadmium transfer in contaminated soil-rice systems: Insights from solid-state speciation analysis and stable isotope fractionation. *Environmental Pollution*, 269, 115934. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115934
269. Willgoose, G. (2018). *Principles of Soilscape and Landscape Evolution*. Cambridge University Press, Cambridge. doi:10.1017/9781139029339
270. Wrb, I.W.G. (2015). World reference base for soil resources 2014, update 2015 international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports №. 106*, 192.
271. Wu, J., Song, Q., Zhou, J., Wu, Y., Liu, X., Liu, J., Zhou, L., Wu, Z., & Wu, W. (2021). Cadmium threshold for acidic and multi-metal contaminated soil according to *Oryza sativa* L. Cadmium accumulation: Influential factors and prediction model. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, article 111420. doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.111420

272. Wyszowska, J., Borowik, A., Kucharski, M., & Kucharski, J. (2013). Effect of cadmium, copper and zinc on plants, soil microorganisms and soil enzymes. *Journal of Elementology*, 18(4), 769–796.
273. Yan, J., Fischel, M., Chen, H., Siebecker, M G., Wang P., Zhao, F.-J., & Sparks, D. L. (2021). Cadmium speciation and release kinetics in a paddy soil as affected by soil amendments and flooding-draining cycle. *Environmental Pollution*, 268 (B), article 115944. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115944
274. Yakovets, L. (2021). Migration of heavy metals in the soil profile. *Norwegian Journal of development of the International Science*, 54, 8–11.
275. Yan, X., Zhao, W., Yang, X., Liu, C., & Zhou, Y. (2020). Input–output balance of cadmium in typical agriculture soils with historical sewage irrigation in China. *Journal of Environmental Management*, 276, 111298. doi: 10.1016/j.jenvman.2020.111298
276. Yang, X. E., Baligar, V. C., Martens, D. C., & Clark, R. B. (1995). Influx, transport and accumulation of cadmium in plant species grown at different Cd^{2+} activities. *Environmental Journal of Environmental Science and Health*, 30, 569–583. doi:10.1080/03601239509372954
277. Yang, Y., Li, Y., Chen, W., Wang, M., Wang, T., & Dai, Y. (2020). Dynamic interactions between soil cadmium and zinc affect cadmium phytoavailability to rice and wheat: Regional investigation and risk modeling. *Environmental Pollution*, 267, 115613. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115613
278. Yang, Y., Li, Y., Wang, M., Chen, W., & Dai, Y. (2021). Limestone dosage response of cadmium phytoavailability minimization in rice: A trade-off relationship between soil pH and amorphous manganese content. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123664. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123664
279. Yu, M. H., & Tsunoda, H. (2004). *Environmental toxicology: Biological and health effects of pollutants*. CRC Press, Boca Raton.
280. Yuan, C., Li, Q., Sun, Z., & Sun, H. (2021). Effects of natural organic matter on cadmium mobility in paddy soil: A review. *Journal of Environmental Sciences*, 104, 204–215. doi: 10.1016/j.jes.2020.11.016

- 281.** Zeng, F. R., Ali, S., Zhang, H. T., Ouyang, Y. N., Qiu, B. Y., Wu, F. B., & Zhang, G. P. (2011). The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution*, 159, 84–91.
- 282.** Zohar, I., Bookman, R., Levin, N., de Stigter, H. & Teutsch, N. (2014). Contamination history of lead and other trace metals reconstructed from an urban winter pond in the eastern Mediterranean Coast (Israel). *Environmental Science & Technology*, 48 (23), 13592–13600. doi: 10.1021/es500530x
- 283.** Zu, Y., Li, Y., Bock, L., Colinet, G., & Schwartz, C. (2014). Mobility and distribution of lead, cadmium, copper and zinc in soil profiles in the peri-urban marker garden of Kunming, Yunnan province, China. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(1), 133–149.
- 284.** Zhang, Y., Zhang, Y., Akakuru, O., U., Xu, X., & Wu, A. (2021) Research progress and mechanism of nanomaterials-mediated in-situ remediation of cadmium-contaminated soil: A critical review. *Journal of Environmental Sciences*, 104, 351–364. doi:10.1016/j.jes.2020.12.021
- 285.** Zhang, H., Ke, S., Zhang, S., Shao, J., & Chen, H. (2020). Reactive transport modeling of pollutants in heterogeneous layered paddy soils: a) Cadmium migration and vertical distributions. *Journal of Contaminant Hydrology*, 235, 103735. doi:10.1016/j.jconhyd.2020.103735
- 286.** Zhu, Q. H., Huang, D. Y., Liu, S. L., Luo, Z. C., Zhu, H. H., Zhou, B., Lei, M., Rao, Z. X., & Cao, X. L. (2012). Assessment of single extraction methods for evaluating the immobilization effect of amendments on cadmium in contaminated acidic paddy soil. *Plant, Soil and Environment*. 58 (2), 98–103.

ДОДАТОК А – ФОТОГРАФІЇ ДОСЛІДЖЕНИХ ЕДАФОТОПІВ ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОФІЛІВ м. КАМ'ЯНСЬКЕ

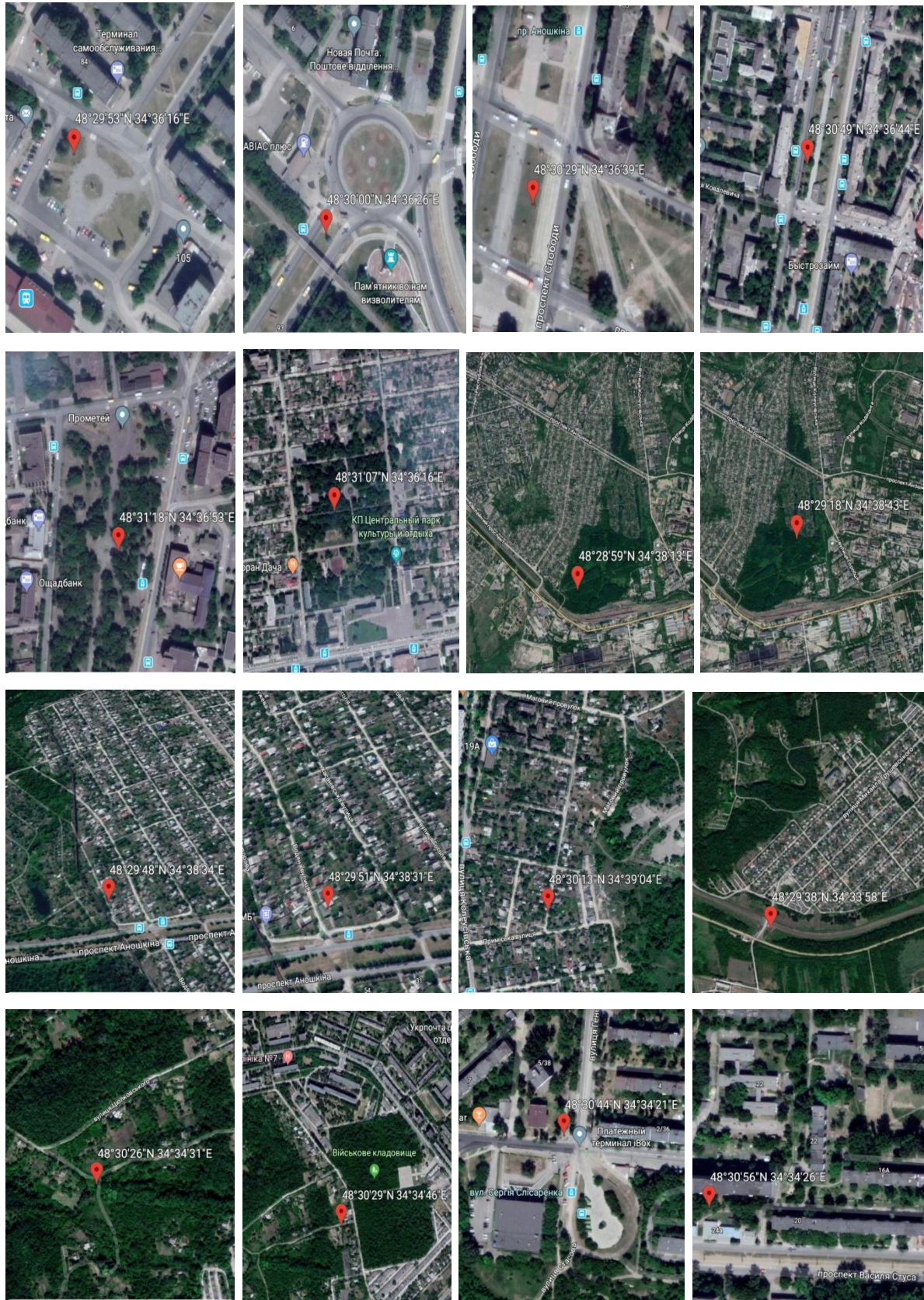


Рис А 1.Скріншоти карт досліджених ділянок



Рис А 2.Скріншоти карт досліджених ділянок

ДОДАТОК Б – СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ

Список публікацій здобувача, в яких опубліковані основні наукові результати 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 (особистий внесок: опрацьовано літературні джерела, оброблено матеріал, проаналізовано результати, здійснено переклад й оформлення для публікації) (*Scopus, Web of Science*).
2. Цветкова, Н. М., **Гуцько, С. О.** (2015). Корелятивна характеристика кадмію в ґрунтах степового Придніпров'я. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія*, 23(2), 190–196. doi: 10.15421/011527 (особистий внесок: опрацьовано літературні джерела, оброблено матеріал, проаналізовано результати й оформлення для публікації) (*Web of Science*).
3. **Гуцько, С. О.** (2015). Екологічні особливості розповсюдження кадмію в едафотопях урбанізованих територій степового Придніпров'я (на прикладі м. Дніпродзержинська), *Ґрунтознавство*, 16 (3–4), 52–59. doi: 10.15421/041517 (*Index Copernicus International*).
4. **Гуцько 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 рекультивациї 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 едафотопях урбанізованих територій Степового Придніпров'я. *Питання степового лісознавства та лісової рекультивациі 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). Haifa.
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. Травлеєва. (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 симпозіуму*. (С. 210–213). Кам'янське: ДДТУ.

13. **Гулько, 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 эколога-2017: Доклады международного научного симпозиума.* (С. 142–144). Каменское: ДГТУ.
15. Якуба, М. С., **Гулько, 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). Склад та міграція кадмію в антропогенно-перетворених ґрунтах. *Неделя еколога–2012: Тезиси докладов міжнародного симпозиума.* (С. 40–42). Днепродзержинск: ДДГУ.
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 Дніпродзержинськ. *Молодь і поступ біології: збірник тез V міжнародної наукової конференції студентів і аспірантів.* (С.53–54). Львів: ЛНУ ім. І.Франка.

ДОДАТОК В – АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



КАМ'ЯНСЬКА МІСЬКА РАДА
ДЕПАРТАМЕНТ ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ
 просп.Свободи, 2/1, м.Кам'янське, Дніпропетровська обл., 51925, тел. 068-917-48-17,
 E-mail: eko@kam.gov.ua, Web: http://kam.gov.ua, Код ЄДРПОУ 33247458

25.11.2020 № 01-08/215 Гук.

На № _____ від _____

ДОВІДКА

Впровадження результатів дисертаційної роботи Гунько С.О. «Закономірності розподілу кадмію в едафотопях урбанізованих територій м. Кам'янське»

Результати науково-дослідної роботи старшого викладача кафедри екології та охорони навколишнього середовища Дніпровського державного технічного університету С. О. Гунько були розглянуті департаментом екології та природних ресурсів Кам'янської міської ради. Результати дисертаційного дослідження дають можливість проведення екологічної оцінки рівнів забруднення едафотопів урбанізованих територій кадмієм, проведення сучасної еколого-класифікаційної характеристики ґрунтів м.Кам'янське за рівнем його забруднення та можуть бути враховані та використані в роботі виконавчих органів міста. Оцінка техногенної дії на ґрунтовий покрив міста актуальна в плані моніторингу, що відповідає сучасним задачам спостереження за станом навколишнього середовища.

Актуальність подібних досліджень обумовлена, насамперед, необхідністю зниження загрозливих екологічних наслідків забруднення ґрунтів мікроелементами, зокрема, кадмієм. Виконані дослідження дають змогу для проведення та розширення інформаційної бази спостережень за конкретними компонентами навколишнього середовища, здійснення прогнозу змін за тих чи інших варіацій рівня антропогенного впливу на ґрунти території міста та можливість наукового обґрунтування необхідних відповідних заходів в подальшому. Результати дають можливість оцінити вміст кадмію в ґрунтах м. Кам'янське, у дисертаційному дослідженні з'ясовано, що він відрізняється просторовою неоднорідністю та коливається в достатньо широкому діапазоні.

Аналіз ступеня забруднення та закономірностей розподілу кадмію едафотопами території міста дає змогу охарактеризувати адміністративні райони, що є актуальним завданням для нашого регіону та міста в цілому.

Матеріали кандидатської дисертації С. О. Гунько можуть бути використані департаментом екології та природних ресурсів м. Кам'янське та бути корисні при дослідженні впливу різних чинників довкілля (зокрема й антропогенного походження), для роботи при проведенні спостережень в рамках екологічного моніторингу міста, розробки необхідних природоохоронних заходів при забрудненні ґрунтів кадмієм, адаптації міста до зміни клімату.

Директор департаменту



Богдан НАПОЛОВ

Володимир Кремін (0569) 55 44 60

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної
роботи Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
кандидат технічних наук, доцент



Дмитро СВИНАРЕНКО

АКТ**впровадження результатів науково-дослідної роботи**

Результати дисертаційної роботи старшого викладача кафедри екології та охорони навколишнього середовища Дніпровського державного технічного університету С. О. Гунько на тему «Закономірності розподілу кадмію в едафотобах урбанізованих територій м. Кам'янське», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія», впроваджено в навчальний процес на кафедрі геоботаніки, ґрунтознавства та екології Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара під час викладання дисциплін: «Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище», «Моделювання та прогнозування стану довкілля». На практичних роботах з «Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище» запропоновано використання даних щодо вмісту важких металів, зокрема кадмію, які потребують розширення інформаційної бази спостережень, детального доповнення, всебічного аналізу та постійних моніторингових досліджень. Для практичних занять із «Моделювання та прогнозування стану довкілля» запропоновано використання методу прогнозу концентрації кадмію за допомогою створення карт інтерполяції його вмісту у ґрунтах (валової та рухомої форм), які будуються за допомогою програмного забезпечення ArcGIS Spatial Analyst, що дає можливість виявити закономірності розподілу слідового елемента в едафотобах урбанізованих територій м. Кам'янське.

Представлені автором дисертаційної роботи матеріали дозволили доповнити зміст дисциплін екологічного та природоохоронного спрямування та підвищити рівень знань здобувачів освіти.

Зав. кафедрою геоботаніки,
ґрунтознавства та екології

Вадим ГОРБАНЬ

Декан біолого-екологічного факультету,
доктор біологічних наук, професор

Олена СЕВЕРИНОВСЬКА

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор
Дніпровського державного
технічного університету,
доктор технічних наук, професор

 В. М. Туляєв

«20» 08 2020 р.

**АКТ****впровадження результатів науково-дослідної роботи**

Результати дисертаційної роботи старшого викладача кафедри екології та охорони навколишнього середовища Дніпровського державного технічного університету С. О. Гунько на тему «Закономірності розподілу кадмію в едафотобах урбанізованих територій м. Кам'янське», що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія», впроваджено в навчальний процес на кафедрі екології та охорони навколишнього середовища Дніпровського державного технічного університету під час викладання дисциплін: «Основи біогеохімії», «Урбоекологія». На лабораторних роботах із «Основи біогеохімії» запропоновано використання методики розрахунку для визначення біогенної міграції хімічних елементів, зокрема кадмію. Для практичних занять із «Урбоекології» запропоновано використання карт інтерполяції забруднення ґрунтів кадмієм м. Кам'янське, створених за допомогою програмного забезпечення ArcGIS Spatial Analyst для прогнозування його вмісту в едафотобах урбосистем в цілому.

Представлені автором дисертаційної роботи матеріали дозволили доповнити зміст дисциплін освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 101 – «Екологія» та підвищити рівень знань здобувачів освіти.

Зав. кафедрою екології та охорони
навколишнього середовища,
доктор технічних наук, професор



О. В. Зберовський

Декан металургійного факультету,
доктор технічних наук, професор



В. В. Перемітько