

ЗАСТОСУВАННЯ ГІС ТЕХНОЛОГІЙ В ОЦІНЮВАННІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ КАДМІЮ В ҐРУНТАХ М. КАМ'ЯНСЬКЕ

Гулько С.О.

Дніпровський державний технічний університет
вул. Дніпробудівська, 2, 51918,
м. Кам'янське, Дніпропетровська область
goonko@gmail.com

У роботі продемонстровано можливості програмного забезпечення ArcGIS Spatial Analyst в оцінюванні екологічного стану ґрунтів міста за вмістом кадмію. Представлено дані концентрації кадмію в ґрунтах (валова та рухома форми) м. Кам'янське в ґрунтовому горизонті 0–150 см. *Ключові слова*: концентрація, ґрунт, ArcGIS Spatial Analyst, кадмій.

Применение ГИС технологий в оценивании распространения кадмия в почвах г. Каменское. Гулько С.А. В работе продемонстрированы возможности программного обеспечения ArcGIS Spatial Analyst в оценке экологического состояния почв города по содержанию кадмия. Представлены данные концентрации кадмия в почвах (валовая и подвижная формы) г. Каменское в почвенном горизонте 0–150 см. *Ключевые слова*: концентрация, почва, ArcGIS Spatial Analyst, кадмий.

Application of GIS technologies in evaluation of distribution of Cadmium soils of the city Kamianske. Gunko S. The paper demonstrates the ArcGIS Spatial Analyst software capabilities in assessing the ecological status of the city's soils cadmium content. The data on the concentration of cadmium in soils (gross and moving forms) of city of Kamiyanske in 0-150 cm soil horizon are presented. *Key words*: concentration, soil, ArcGIS Spatial Analyst, cadmium.

Постановка проблеми. Екологічна безпека в Україні не може забезпечуватися лише за допомогою природоохоронних заходів без урахування соціальних, економічних, політичних і демографічних проблем. Усі вони настільки взаємопов'язані, що розв'язання кожної окремо потребує загального їх розгляду. В Україні, де велику частину території займають сильно перетворені ландшафти, всі техногенні й переважна більшість природних катастроф пов'язані, як правило, з негативними екологічними наслідками таких несприятливих процесів, як забруднення ґрунтів, погіршення якості води, повітря, збіднення біорізноманіття, що зумовлюють деградацію природного середовища загалом. Несприятливе навколишнє середовище, як і інші чинники, однозначно призводить до погіршення суспільного здоров'я та, як наслідок – до загострення медико-демографічних проблем [1; 2].

Унаслідок забруднення природного середовища хімічною, металургійною і гірничодобувною галузями промисловості, атомними і тепловими електростанціями, цукровими заводами, автотранспортом, меліоративними системами відбувається техногенне навантаження на ландшафти України. Промисловість впливає на ландшафти переважно шляхом їх безпосередньої руйнації, в результаті чого викиди в атмосферу й гідросферу забруднюючих речовин розносяться на великі відстані та потрапляють майже до всіх компонентів ландшафту. У районах із високою концентрацією паливно-енергетичних підприємств формуються техногенні геохімічні аномалії, забруд-

нюються ґрунти, поверхневі та підземні води, відчужуються значні площі родючих сільськогосподарських земель [3; 4]. Прикладом таких територій може слугувати місто Кам'янське. Як і інші індустриальні міста, воно являє собою вкрай нестійку, але єдину систему, створену з природних, штучних та техногенних складових. Ця система в наш час втратила здатність до самовідновлення, нездатна протистояти негативним екологічним факторам середовища, включаючи антропогенні впливи, що мають місце повсякчасно [5].

Актуальність дослідження. Актуальною проблемою, що вимагає постійної уваги та вирішення, виступає комплексне екологічне дослідження ступеня забруднення важким металами природних компонентів міста Кам'янське, зокрема кадмієм, як вкрай небезпечним елементом, що відноситься до І класу небезпеки [6–8].

Існують численні дані про вміст кадмію в різних типах ґрунтів (в тому числі, Кам'янського) [9–12], але дотепер немає повної інформації про достовірну геохімічну поведінку кадмію в них у конкретних ґрунтах – природних і антропогенно перетворених. Ґрунтовий покрив накопичує інформацію про процеси та зміни, що відбуваються в ньому, тобто ґрунт виступає своєрідним індикатором не тільки теперішнього стану середовища, але й відбиває минулі процеси. Кам'янське – один із найбільших промислових центрів України. Взаємодія потенційно небезпечних виробництв (підприємства металургійної, хімічної, машинобудівної, енергетики та ін.) із природним

середовищем і населенням утворює небезпечні регіональні структурно-екологічні зони, які потребують відповідного регулювання [13].

Одним із важливих факторів, що визначають ступінь екологічної безпеки території, є антропогенна перетвореність сучасних ландшафтів України та її окремих природно-господарських регіонів. Певний вид антропогенного впливу на ландшафти визначається великою кількістю параметрів, кожен із яких безпосередньо характеризує ступінь антропогенного навантаження.

Будь-яка інформація за своїм визначенням є джерелом, потужність якого залежить як від актуальності та значущості самої інформації, так і від готовності, можливості, вміння та бажання ефективно її використовувати для досягнення мети.

Родина програмних продуктів ArcGIS – це потужний набір засобів для створення та редагування географічних баз даних, для цілей просторового аналізу, пошуку, надання та керування даними. Використання технології ГІС кардинально прискорює та підвищує якість роботи зі звичайними картами та планами. ArcGIS Spatial Analyst надає широкий набір функцій просторового аналізу і моделювання на основі растрової моделі, включаючи картографічну алгебру, а також інтегрованого вектор-растрового аналізу. 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 [14; 15]. Подібна інформація, особливо нова, в різному ступені є актуальною для всіх без виключення напрямків діяльності на території та, за досвідом розвинених країн, є важливою та використовуваною для якості свого життя; зокрема, в м. Кам'янське подібних досліджень до нас не проводилось.

Методика досліджень. Для створення цілісної характеристики вмісту кадмію в ґрунтах м. Кам'янське застосовано системний підхід до оцінювання екологічних проблем в урбосистемах з різним ступенем техногенного навантаження. Експериментальні дослідження передбачали проведення польових дослідів за геоботанічними методиками. Відбір проб ґрунтів для визначення вмісту кадмію здійснювали за загальноприйнятими методиками. Хімічний аналіз ґрунтів у лабораторії проводили за атестованими методиками з наступною математичною обробкою даних, при $P > 0,05$ (Statistica 7.0). Валові форми важких металів визначали атомно-абсорбційним методом на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115 з атомізацією в повітряно-ацетиленовому полум'ї, рухомі форми визначали в буферній амонійно-ацетатній витяжці ($pH = 4,8$) [16]. Результати, наведені в статті, представляють собою середнє арифметичне з 10 значень.

Виклад основного матеріалу. Для оцінки розповсюдження кадмію в ґрунтах у межах м. Кам'янське

проведено ретельне ґрунтове обстеження, виділено 29 пробних прощ, що являють собою екологічні профілі (рис. 1), закладені з півдня на північ, згідно з розвою вітрів і зміною висотних позначок міста.



Рис. 1. Точки відбору проб ґрунту в м. Кам'янське

Правобережна частина міста розташована на заплаві та надзаплавних терасах Дніпра, а також на лесовій вододільній рівнині та її схилах на північно-східній околиці Дніпровсько-Бузького вододілу. Лівобережжя розташоване на заплаві та першій надзаплавній терасі Дніпра і являє собою рівнину. Західна частина міста характеризується більш крутим рельєфом. Мінімальна висотна позначка – 51 м, максимальна – 180 м, таким чином, амплітуда коливання висот – 129 м. У правобережній частині міста зональним типом ґрунтів є чорноземи звичайні мало-гумусні, в лівобережній – дернові піщані і глинисто-піщані в комплексі із слабкогумусними пісками та піщаними чорноземами, а в плавнях річки – лучні ґрунти [10]. На прикладі двох окремих екологічних профілів правобережжя (точки 1–6) та лівобережжя (точки 25–29) показано вміст і поширення валових і рухомих форм кадмію (дані представлено в табл. 1).

ґрунти всіх досліджуваних нами правобережних урбосистем екологічного профілю (точки 1–6) в тій чи іншій мірі забруднені кадмієм. Найбільш низький валовий вміст кадмію та його рухомих форм характерний для урбаноземів територій залізничного вокзалу та автовокзалу. Середньостатистичний вміст валової форми кадмію в цих ґрунтах (шар 0–150 см) складає $2,38 \pm 0,6$ мг/кг. Максимальна акумуляція кадмію спостерігається в ґрунтах, що піддаються антропогенному пресу. Середньостатистичний вміст валової форми кадмію в плантоземах пр. Свободи складає $6,08 \pm 1,8$ мг/кг, в антропогенно-поверхнево-перетворених природних ґрунтах центрального

міського парку в середньому становить $6,3 \pm 1,8$ мг/кг. У ґрунтах екологічного профілю 2 визначались відносно великі кількості рухомого кадмію, особливо в тих урбоекосистемах, де спостерігався його висо-

кий валовий вміст. Середній вміст рухомого кадмію в ґрунтах урбоекосистем даного екологічного профілю правобережжя складає $0,57 \pm 0,13$ мг/кг. Загальний розподіл всіх форм кадмію характери-

Таблиця 1

Матриця вмісту важких і рухомих форм кадмію в ґрунтах м. Кам'янське (n=10)

| Урбоекосистема | Горизонт ґрунту, см | Інтервал варіювання концентрації Кадмію, мг/кг | | Точки відбору проб |
|--|---------------------|--|------------------|--------------------|
| | | валова форма | рухома форма | |
| Залізничний вокзал | 0–10 | $2,57 \pm 0,54$ | $0,08 \pm 0,01$ | 1 |
| | 20–50 | $2,51 \pm 0,63$ | $0,16 \pm 0,12$ | |
| | 50–80 | $2,21 \pm 0,54$ | $0,14 \pm 0,11$ | |
| | 120–150 | $2,01 \pm 0,53$ | $0,14 \pm 0,11$ | |
| Автовокзал | 0–10 | $2,69 \pm 0,73$ | $0,08 \pm 0,02$ | 2 |
| | 20–50 | $2,54 \pm 0,65$ | $0,08 \pm 0,03$ | |
| | 50–80 | $2,49 \pm 0,63$ | $0,08 \pm 0,02$ | |
| | 120–150 | $2,00 \pm 0,52$ | $0,08 \pm 0,01$ | |
| Пр. Аношкіна | 0–10 | $3,69 \pm 0,93$ | $0,16 \pm 0,01$ | 3 |
| | 20–50 | $3,40 \pm 0,82$ | $0,08 \pm 0,03$ | |
| | 50–80 | $3,15 \pm 0,54$ | $0,05 \pm 0,02$ | |
| | 120–150 | $2,52 \pm 0,53$ | $0,04 \pm 0,01$ | |
| Вул. Ковалевича | 0–10 | $5,65 \pm 1,54$ | $0,11 \pm 0,02$ | 4 |
| | 20–50 | $5,59 \pm 1,54$ | $0,08 \pm 0,01$ | |
| | 50–80 | $4,50 \pm 1,23$ | $0,06 \pm 0,01$ | |
| | 120–150 | $4,10 \pm 0,94$ | $0,06 \pm 0,01$ | |
| Пр. Свободи (р-н ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат») | 0–10 | $7,59 \pm 2,01$ | $0,98 \pm 0,32$ | 5 |
| | 20–50 | $7,31 \pm 2,02$ | $0,73 \pm 0,30$ | |
| | 50–80 | $5,01 \pm 1,82$ | $0,39 \pm 0,12$ | |
| | 120–150 | $4,39 \pm 1,51$ | $0,38 \pm 0,10$ | |
| Центральний міський парк | 0–10 | $6,74 \pm 2,02$ | $0,51 \pm 0,20$ | 6 |
| | 20–50 | $6,31 \pm 1,92$ | $0,38 \pm 0,12$ | |
| | 50–80 | $5,86 \pm 1,61$ | $0,35 \pm 0,10$ | |
| | 120–150 | $5,42 \pm 1,58$ | $0,31 \pm 0,10$ | |
| кінотеатр Мир | 0–10 | $0,91 \pm 0,05$ | $0,03 \pm 0,06$ | 25 |
| | 20–50 | $0,98 \pm 0,08$ | $0,03 \pm 0,02$ | |
| | 50–80 | $0,71 \pm 0,05$ | $0,34 \pm 0,02$ | |
| | 120–150 | $0,63 \pm 0,03$ | $0,24 \pm 0,03$ | |
| вул. Харківська (1 мкр) | 0–10 | $0,57 \pm 0,02$ | $0,08 \pm 0,006$ | 26 |
| | 20–50 | $0,49 \pm 0,02$ | $0,08 \pm 0,005$ | |
| | 50–80 | $0,50 \pm 0,02$ | $0,05 \pm 0,006$ | |
| | 120–150 | $0,42 \pm 0,03$ | $0,06 \pm 0,006$ | |
| пр. Металургів (2 мкр) | 0–10 | $0,61 \pm 0,02$ | $0,09 \pm 0,004$ | 27 |
| | 20–50 | $0,51 \pm 0,02$ | $0,08 \pm 0,007$ | |
| | 50–80 | $0,50 \pm 0,02$ | $0,05 \pm 0,006$ | |
| | 120–150 | $0,52 \pm 0,03$ | $0,05 \pm 0,007$ | |
| бульвар Героїв | 0–10 | $1,11 \pm 0,05$ | $0,04 \pm 0,02$ | 28 |
| | 20–50 | $1,06 \pm 0,05$ | $0,04 \pm 0,01$ | |
| | 50–80 | $1,01 \pm 0,04$ | $0,03 \pm 0,01$ | |
| | 120–150 | $1,00 \pm 0,04$ | $0,03 \pm 0,01$ | |
| проспект Дружби Народів (зелена зона) | 0–10 | $0,83 \pm 0,05$ | $0,37 \pm 0,06$ | 29 |
| | 20–50 | $0,80 \pm 0,08$ | $0,36 \pm 0,02$ | |
| | 50–80 | $0,73 \pm 0,05$ | $0,34 \pm 0,02$ | |
| | 120–150 | $0,68 \pm 0,03$ | $0,34 \pm 0,03$ | |

зується істотною варіабельністю, яка зумовлена особливостями розташування промислових підприємств у місті, потужністю і складом їх атмосферних викидів, напрямком техногенних потоків, геоморфологічними особливостями міста. Вивчення розподілу кадмію за глибиною ґрунтового профілю показало, що кадмій відносно рівномірно розподіляється за профілем чорноземів звичайних і концентрується у верхній його частині. Інакшою була поведінка вмісту та розподілу кадмію в лівобережній частині м. Кам'янське. Антропогенно-поверхнево-перетворені природні ґрунти лівобережжя міста визначаються наступним середнім вмістом валової форми кадмію: він складає 0,8 мг/кг, цей показник є найнижчим. Причин такого низького вмісту кадмію в ґрунтах даної території може бути декілька: зональними ґрунтами лівобережжя є намівні дерново-піщані та глинисто-піщані ґрунти в комплексі із слабогумусними пісками та піщаними чорноземами, а також значна віддаленість від основних джерел промисловості (металургійної, машинобудівної, хімічної) нашого міста. Тому з точки зору вмісту кадмію дану територію можна вважати умовно чистою. Для візуалізації конкретних даних вмісту валової та рухомих форм кадмію представлено гістограми, які наглядно демонструють наведені вище результати та пояснення. Невипадково було обрано в якості демонстрації вмісту валової та рухомої форми кадмію саме на прикладі цих екологічних профілів правобережжя (точки 1–6) та лівобережжя (точки 25–29). Отримані в результаті досліджень конкретні дані демонструють строкатість концентрації та розподілу кадмію на території урбосистем міста.

Отримані результати проведених досліджень підтверджують формування зон із підвищеним вмістом кадмію в межах правобережної частини (точки 1–6) м. Кам'янське, проте виявлено недостатню кількість закладених профілів з урахуванням строкатості отриманих результатів, що не дозволяє певною мірою вказати на формування аномалій із підвищеним вмістом кадмію правобережжя Кам'янського чи з повною впевненістю вважати лівобережжя еталонним чистим регіоном міста. Тому наступним етапом дослідження було виявлення таких зон не тільки в межах закладених профілів, а й у віддаленні від них. Геоінформаційна обробка даних проводилась із застосуванням геоінформаційних технологій, що полягає у створенні електронних карт визначених параметрів, а також їх моделювання та прогнозування. Використовуючи інструменти програмного модулю ArcGIS Spatial Analyst, проведено інтерполяцію отриманих результатів варіювання концентрації кадмію у відповідних горизонтах ґрунту, що дозволило виявити аномальні зони вмісту кадмію або ж концентрацію металу в конкретній точці, де не було відібрано пробу (рис. 6 а, б; рис. 7 а, б).

Згідно з проведеним моделюванням встановлено, що ґрунти екологічного профілю правобережжя

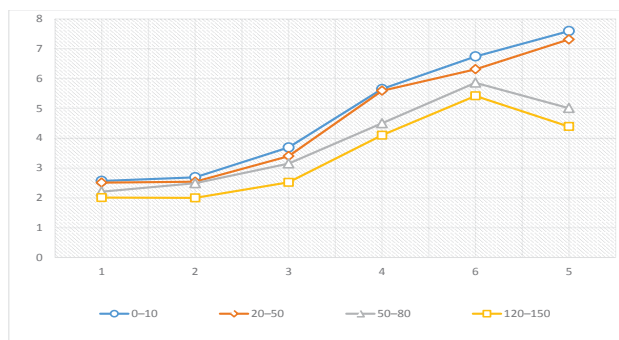


Рис. 2. Варіювання концентрацій валових форм кадмію в ґрунтах м. Кам'янське (точки 1–6)

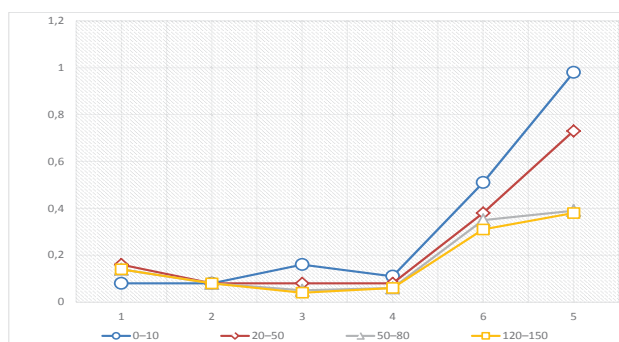


Рис. 3. Варіювання концентрацій рухомих форм кадмію в ґрунтах м. Кам'янське (точки 1–6)

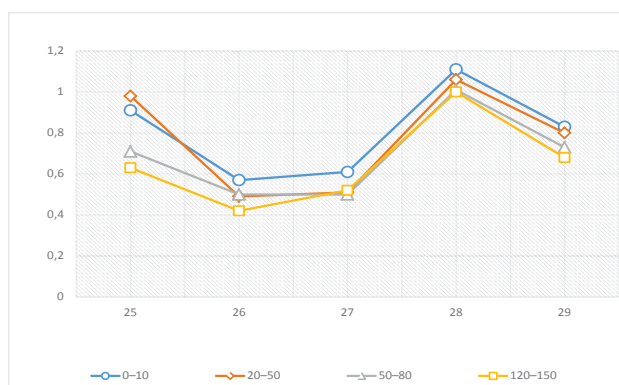


Рис. 4. Варіювання концентрацій валових форм кадмію в ґрунтах м. Кам'янське (точки 25–29)

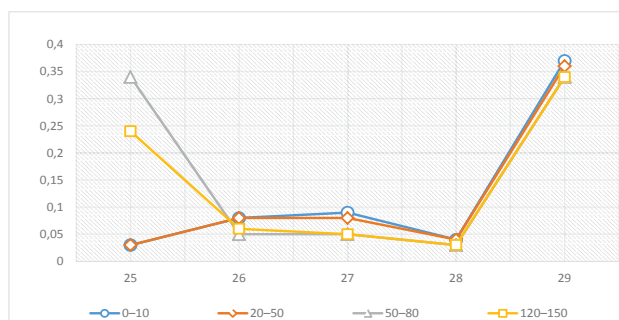


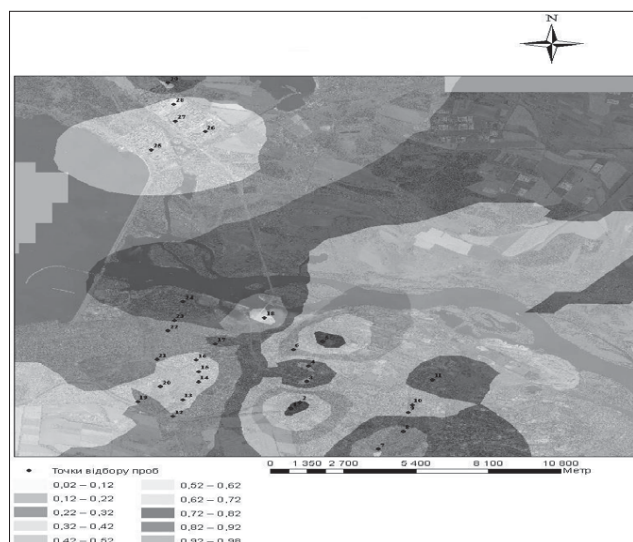
Рис. 5. Варіювання концентрацій рухомих форм кадмію в ґрунтах м. Кам'янське (точки 25–29)

Примітка: по осі абсцис – номер урбосистеми, горизонт ґрунту, по осі ординат – інтервал варіювання концентрації кадмію, мг/кг

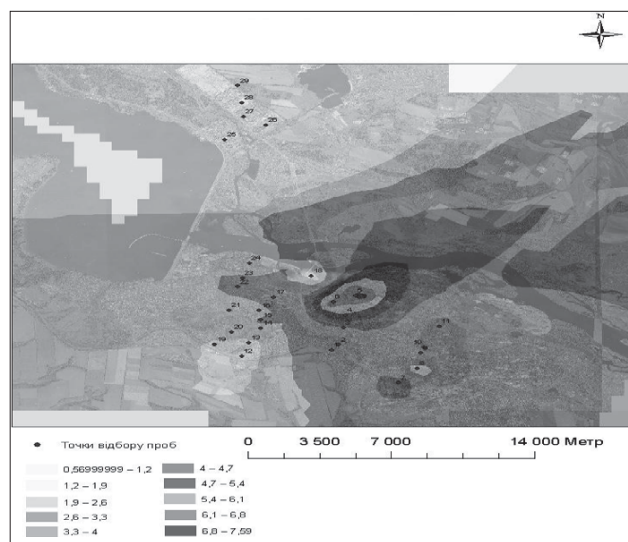
міста (точки 1–6) ґрунтового горизонту (0–10 см) характеризуються великою варіабельністю вмісту валової форми кадмію в діапазоні від 6,8–7,59 мг/кг у центральній частині міста (факельній зоні діючого металургійного підприємства) до 4,0–4,7 мг/кг. Характеризуючи вміст рухомої форми кадмію даного регіону, слід зазначити, що райони авто та залізничного вокзалів (точки 1, 2) характеризуються вмістом 0,72–0,82 мг/кг, що, безумовно, вказує на вплив рельєфу місцевості, оскільки наступна зона пр. Аношкіна та вул. Ковалевича (точки 3, 4) характеризуються вмістом рухомої форми кадмію в діапазоні 0,22–0,32 мг/кг. Згідно з отриманими модельними результатами в центральній частині міста утворюються дві аналогічні зони: зона центрального місцевого парку (точка 6) та

зона ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (точка 5) із вмістом рухомої форми кадмію в межах 0,42–0,52 мг/кг та 0,52–0,62 мг/кг ґрунту відповідно. У територіальних межах рекреаційної та селітебної частини міста даних урбосистем прогнозується концентрація кадмію від 2,6 до 3,3 мг/кг.

За рахунок помірного техногенного навантаження та відмінностей у будові ґрунтового профілю лівобережної частини міста в порівнянні з правобережжям у ґрунтовому горизонті (120–150 см) спостерігається мінімальний вміст валової та рухомої форм кадмію. Аналізуючи валовий вміст кадмію в екологічному профілю лівобережжя (точки 25–29), робимо висновок, що концентрація варіює в діапазоні 0,56–1,2 мг/кг ґрунту. Характеризуючи вміст рухомої форми кадмію даного регіону на глибині 120–150 см, слід

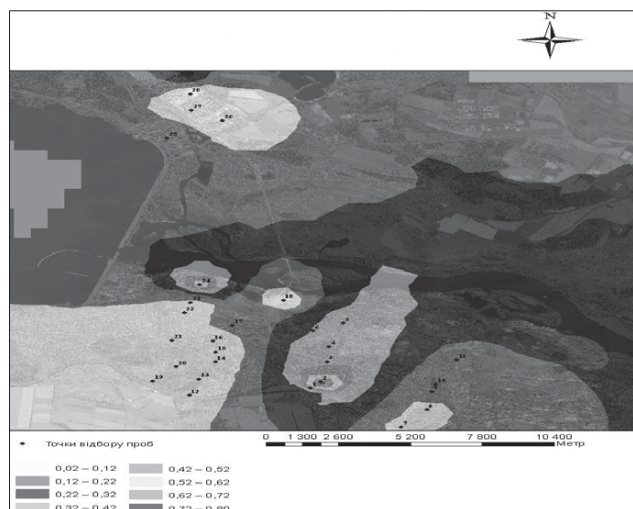


а)

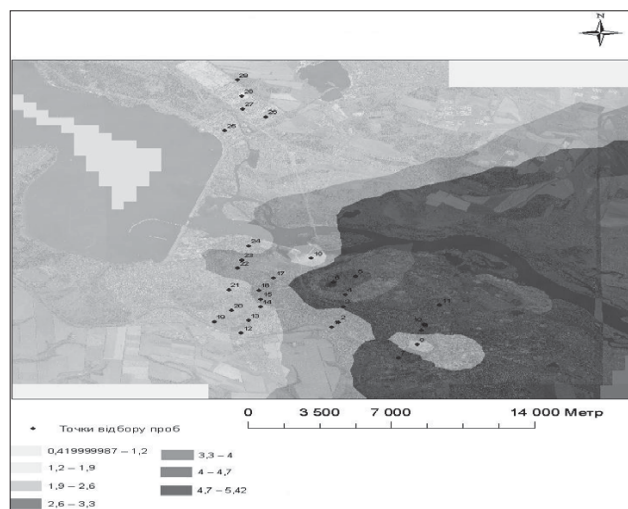


б)

Рис. 6. Інтерполяція вмісту валових (а) і рухомих (б) форм кадмію в ґрунтовому горизонті (0–10 см) м. Кам'янське (точки 1–6)



а)



б)

Рис. 7. Інтерполяція вмісту валових (а) і рухомих (б) форм кадмію в ґрунтовому горизонті (120–150 см) м. Кам'янське (точки 25–29)

зазначити, що в точці 25 відмічено діапазон вмісту 0,12-0,22 мг/кг, для точок 26–28 характерний – від 0,62-0,72 мг/кг, у зеленій зоні лівобережжя (точка 29) вміст рухомої форми кадмію на глибині 0-150 см становить 0,22-0,32 мг/кг.

Головні висновки. Показане співвідношення валової та рухомої форм кадмію в ґрунтах і ґрунтоутворюючих породах (горизонт 0–150 см) урбанізованих територій двох відмінних екологічних профілів

правобережної та лівобережної частин м. Кам'янське. Проведено інтерполяцію методом ординарного крігінга вмісту валової та рухомої форм кадмію в ґрунтових горизонтах (0-10 см та 120-150 см) урбосистем м. Кам'янське. Отримані дані можуть бути використані екологічними службами міст із високим ступенем антропогенного навантаження для моніторингу компонентів навколишнього середовища (зокрема, вмісту важких металів у ґрунтах).

Література

1. Пасічний Г.В., Сердюк С.М. Геоекологічні моніторингові дослідження вмісту важких металів у ґрунтах техногенно змінених ландшафтів (на прикладі м. Дніпродзержинська). Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Геологія. Географія. 2002. Вип. 4. С. 161–166.
2. Цветкова Н.М., Пахомов О. Є., Сердюк С.М., Якуба М.С. Біологічне різноманіття України. Дніпропетровська область. Ґрунти. Метали у ґрунтах. Д.: ЛІРА, 2016. 180 с.
3. Пахомов А.Е. Сравнительная характеристика содержания микроэлементов в организме различных видов дождевых червей с урбанизированной территории и использование этих показателей для биоиндикационного картографирования городской среды г. Днепродзержинска. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2001. Т. 1. Вип. 9. С. 97–101.
4. Сараненко І.І. Біогеохімічні аномалії накопичення важких металів у ґрунтах промислових центрів (на прикладі м. Кременчук). Ґрунтознавство. 2005. Т. 6. № 1–2. С. 62–66.
5. Цветкова Н.Н. Особенности миграции органо-минеральных веществ и микроэлементов в лесных биогеоценозах степной Украины. Д.: Изд-во ДГУ, 1992. 238 с.
6. Якуба М.С. Моніторинг вмісту кадмію та цинку у біогеоценозах зеленої мережі Присамар'я Дніпровського // Питання степового лісознавства. Вип. 8(33). Д.: РВВ ДНУ, 2004. С. 47–53.
7. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях Л.: Агропромиздат, 1987. 148 с.
8. Дзлий И.И. Металлургия кадмия. М.: Metallurgizdat, 1962. 188 с.
9. Клименко Т.К. Джерела просторової неоднорідності вмісту валових і рухомих форм важких металів у ґрунтах урбанізованих ландшафтів // Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки). Кам'янське: ДДТУ, 2017. Випуск 2(31). С. 117–128.
10. Гуцько С.О. Сучасний стан вивченості кадмію в едафотопях урбанізованих територій Степового Придніпров'я // Питання степового лісознавства та лісової рекультивативації земель: [зб. наук. пр.] / ред. кол. А.П. Травлєєв (гол. ред) [та ін.]. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2010. Вип. 39. С. 125–139.
11. Гуцько С.О. Кадмій у ґрунтах м. Дніпродзержинськ. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Медицина. 2011. Вип. 2. Т. 1. С. 24–30.
12. Цветкова Н.М., Гуцько С.О. Корелятивна характеристика кадмію у ґрунтах степового Придніпров'я. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2015. Вип. 23(2). С. 190–196. URL: <https://doi.org/10.15421/011527>.
13. Цветкова Н.М., Сараненко І.І., Дубина А.О. Застосування геоінформаційних систем в оцінюванні розвитку яружно-балкової ерозії степової зони України. Вісник Дніпропетровського університету. Біологія, екологія. 2015. Вип. 23(2). С. 197–202. URL: <https://doi.org/10.15421/011528>.
14. Kevin, J., Ver Hoef, J.M., Krivoruchko, K., & Lukas, N. Using ArcGIS Geostatistical Analyst., CA: ESRI, Redlands. 2001. 180.
15. Сарханов О.А. Геоинформационные системы. Сумы: СНАУ, 2012. 200 с.
16. Ковальский В.В., Гололобов А.Д. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растениях и почвах. М.: «Колос», 1969. 272 с.