

УДК 528.41:519.873

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.250423.19.926

ФОРМУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОЇ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ ІНЖИНІРИНГОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННО ЗАБРУДНЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

БЕГІЧЕВ С. В.¹, канд. техн. наук, доц.,
ШУТИНА Г. С.^{2*}, канд. техн. наук, доц.,
ЛАНДО Є. О.³, канд. техн. наук, доц.

¹ Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: sergey_begichev@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-9861-8754

^{2*} Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: ishutina.hanna@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0665-30402

³ Кафедра автомобільних доріг, геодезії та землеустрою, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: lando.evgen@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2608-931X

Анотація. Отримання достовірних даних за результатами аналізу моніторингу техногенного забруднення ґрунтів (ТЗГ) як сільгоспугідь, так і в промислових регіонах та мегаполісах, дозволить повноцінно проводити раціональне землекористування. Впровадження статистичних методів для оцінювання екологічного стану земель дозволить підвищити надійність інформації та ефективно використовувати накопичену базу даних для застосування продуктивних ГІС-технологій, що відкриває змогу візуалізувати динаміку екологічного стану земель, які досліджуються, для використання отриманих даних у реальних інжинірингових проектах із поліпшення екологічного стану забруднених земель. **Мета роботи** – формування бази даних для проектів інжинірингового забезпечення екологізації територій на основі результатів оцінювання екологічного стану ґрунтів на прикладі м. Дніпро шляхом використання статистичних методів та зонування території міста у вигляді TIN-поверхні ТЗГ за допомогою ГІС-технологій. **Методика.** Для оцінювання техногенного стану земель м. Дніпро застосовано статистичні розрахунки інтегральних умовних показників забруднення ґрунтів та геоінформаційні технології (ПК «ArcView», «Surfer»). Створено ГІС-модель стану ТЗГ м. Дніпро для зонування його території, у вигляді TIN-поверхні, на якій умовно різними кольорами виділено зони «сильного», «середнього» та «слабкого» техногенного забруднення. Результати екологічних досліджень, виконаних громадською організацією «За право громадян на екологічну безпеку», представлені у вигляді створеної динамічної моделі екозабруднення ґрунтів у м. Дніпро з виділенням чотирьох категорій екологічної безпеки території: безпечна, помірно безпечна, небезпечна та надзвичайно небезпечна. **Наукова новизна.** Вперше запропоновано метод геометризації, який дозволяє графічно оконтурити на генпланах ділянки з високим рівнем техногенного забруднення ґрунтів на території м. Дніпро для їх винесення в натуру за потреби. Установлено, що для достовірної оцінки ситуації з екологічного забруднення земель кожен показник повинен бути врахований для отримання інтегрального умовного показника забруднення ґрунтів. **Практична значимість.** Виконана оцінка екологічного стану ґрунтів м. Дніпро дозволяє виділити та оконтурити ділянки міста з небезпечним рівнем техногенного забруднення, яких рекомендовано уникати під час відведення земельних ділянок під житлову забудову, створення парків відпочинку на цих землях. Земельні ділянки з високим рівнем техногенного забруднення шкідливі для перебування та проживання людей. **Результати.** Сформовано базу даних для проектів інжинірингового забезпечення екологізації території м. Дніпро. Засобами ГІС-технологій в ПК «ArcView» та «Surfer» створено у динаміці модель ТЗГ з використанням даних екологічних досліджень та їх аналізу.

Ключові слова: база даних; інтегральний умовний показник забруднення ґрунтів; геоінформаційні технології; цифрова модель техногенного забруднення ґрунтів; оцінка екологічного стану; TIN-поверхня

FORMATION OF THE THEORETICAL BASIS FOR THE CREATION OF A DATA BASE FOR ENGINEERING PROVIDING ECOLOGIZATION OF TECHNOLOGICALLY POLLUTED TERRITORIES

ВІЄНІЧЕВ С. В.¹, Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.,

ISHUTINA H.S.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*,
LANDO Ye.O.³, *Cand. Sc. (Tech.), Assoc. Prof.*

¹ Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: sergey_begichev@ua.fm, ORCID ID: 0000-0001-9861-8754

^{2*} Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: ishutina.hanna@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0002-0665-3040

³ Department of Highways, Geodesy and Land Management, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: lando.evgen@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-2608-931X

Abstract. Obtaining reliable data from the analysis of technogenic soil pollution monitoring on both agricultural land and in industrial regions and megacities will allow to fully implement rational land use. The implementation of statistical methods for assessing the ecological state of lands will allow increasing the reliability of information and effectively using the accumulated database for the application of productive GIS technologies. It makes possible to visualize the dynamics of the ecological state for the investigated lands and use of the obtained data in real engineering projects to improve the ecological state of polluted lands. *The purpose of the work* is the formation of a database for engineering projects of territories' ecologization based on the results of the assessment of the soils' ecological state on the example of Dnipro by using statistical methods and the zoning of the city area in the form of TIN-surface of TSP using GIS-technology. *Methodology.* Statistical calculations of integral conditional indicators of soil pollution and geoinformation technologies (PC "ArcView", "Surfer") were used to assess the technogenic state of the lands of Dnipro. A GIS model of the technogenic land in Dnipro was created for the zoning of its territory, in the form of a TIN surface, where the zones of "strong", "medium" and "weak" technogenic pollution are conditionally marked with different colours. The results of ecological research conducted by the the NGO "For the right of citizens to environmental safety" are presented in the form of a dynamic model of soil pollution in the city of Dnipro. There were four categories of environmental safety of the territory: safe, moderately safe, dangerous and extremely dangerous. *Scientific novelty.* For the first time, it was proposed to use the geometrization method, which allows to graphically outlining on general plans areas with a high level of technogenic soil pollution in the territory of the city of Dnipro for their removal to nature if necessary. It is established that for a reliable assessment of the situation of ecological soil pollution, each indicator must be considered to obtain an integral conditional indicator of soil pollution. *Practical value.* The assessment of the soils' ecological state of the city of Dnipro makes it possible to marked and outline the areas of the city with a dangerous level of technogenic pollution. It is recommended to avoid these places when allocating land for residential development, creating recreation parks on these lands. Land plots with a high level of technogenic pollution are harmful for the habitation and residence of people. *Results.* A database has been created for engineering support projects for ecologization of the territory of Dnipro. Using GIS technologies in the PC "ArcView" and "Surfer" created a dynamic model of MMPS using the data of environmental research and their analysis.

Keywords: *database; integral conditional indicator of soil pollution; geoinformation technologies; digital model of technogenic soil pollution; assessment of the ecological state; TIN-surface*

Постановка проблеми. Останніми роками проблема техногенного забруднення ґрунтів мегаполісів та великих промислових міст, промзон та сільгоспугідь різними відходами, викидами від різних промислових виробництв, комунального та сільського господарства стає з кожним роком усе актуальнішою та потребує нагального вирішення. Для цього потрібно розробити дієві технічні рішення, які повинні бути підтримані правовими актами на рівні удосконалення законодавства щодо охорони земель від забруднення, деградації та псування, проведенням інжинірингового забезпечення, а також відповідної діяльності місцевих органів влади в цьому напрямку.

На сучасному етапі ефективно виконувати багатомірні завдання можливо

за умови застосування математичних методів аналізу разом із сучасними ГІС-технологіями.

Інжиніринг розуміємо як результат інтелектуальної діяльності інженерів-фахівців, у відповідній галузі досліджень, проектування, розроблення технологій, систематизації/оптимізації складових процесів та реалізації їх у практиці.

Під терміном «екологізація» у публікації [3] розуміється структурований процес, що включає декілька взаємодоповнюваних напрямків: упровадження систем технологічних, управлінських, юридичних та інших рішень, які дозволяють підвищувати ефективність використання природних ресурсів і умов поряд із поліпшенням, або хоча б збереженням якості довкілля.

Особливість забруднення ґрунтів, на відміну від повітря та води, як показують результати аналізу наукової літератури, полягає в накопиченні та збільшенні в них кількості забруднень, які в результаті комплексної дії різних факторів сумарно утворюють більш токсичні речовини через те що потрібно значно більше часу для природного самоочищення ґрунтів.

Для раціонального, екологічнобезпечного землекористування сьогодні треба використовувати матеріали екологічної оцінки території та результати аналізу факторів техногенного впливу на природне середовище, що дозволить розробити науково обґрунтовані пропозиції, спрямовані на зменшення негативних наслідків забруднення.

Виділення невирішеної проблеми

Відносини в Україні з точки зору права використання й охорони техногенно забруднених ґрунтів (ТЗГ) регулюються відповідно до прописаних норм у різних різногалузевих правових актах та нормативних документах, які неоднорідні за характером та юридичною силою.

У цих дослідженнях автори обмежуються поняттям «техногенно забрудненими ґрунтами» які складають частину поверхневого шару літосфери Землі, що володіє родючістю.

Одним із перших нормативно-правових актів на території України, де було закріплено поняття «техногенно забруднені землі (ТЗЗ)», став Указ Президента України «Про Основні напрями земельної реформи в Україні на 2001 – 2005 роки» від 30 травня 2001 року.

Земельний кодекс України регулює механізм використання та охорони техногенно забруднених земель разом з низкою Законів України «Про охорону земель», «Про державний контроль за використанням та охороною земель» та ін.

Автор публікації [2] стверджує, що «законодавство щодо охорони ТЗЗ не становить такої цілісної взаємоузгодженої системи як, наприклад, земельне чи водне законодавство», отже потребує вдосконалення. Враховуючи дані, наведені у

документі «Основні засади (стратегії) державної екологічної політики України» на період до 2030 р.» (далі Стратегії), стан земельних ресурсів України близький до критичного, близько 20 % земель України забруднені.

Гірничопромислові відходи становлять понад 75 % від утворених в Україні, при цьому лише 2 % – відходи комунальної сфери.

Пріоритетними напрямками екологічної політики України на 2020–2030 рр. стали впровадження збалансованого природокористування і збереження та відновлення природних екосистем. Реалізація програми Стратегії передбачає перехід на систему комплексного державного моніторингу стану навколишнього природного середовища та надає можливість створити ефективну систему доступу до публічної інформації щодо екологічного стану країни, дозволить посилити контроль за станом навколишнього природного середовища, та як результат мінімізувати забруднення ґрунтів небезпечними забруднювальними речовинами та відходами.

Беручи до уваги стратегічні напрями програми державної екологічної політики України, вказані у Стратегії, автори пропонують для спрощення користування атрибутивною інформацією, зведеною до баз даних щодо екологічного стану земель, створення для візуалізації та полегшення сприйняття цих даних 3D-моделі у вигляді TIN-поверхонь розподілу ТЗГ.

Це, своєю чергою, дозволить раціонально використовувати зображені на моделі ділянки територій відповідно до їх ступеня забрудненості та удосконалити систему інформаційного забезпечення процесу прийняття управлінських рішень відносно вживання дієвих заходів для поліпшення екологічного стану відповідно до виконаного зонування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як наведено вище, серед джерел утворення відходів в Україні 75 % – гірничопромислові. Тому проаналізуємо цю категорію територій як в Україні, так і за кордоном.

Дослідженням екологічного стану підроблюваних та порушених земель гірничопромислових регіонів України та світу присвячено багато науково-технічних публікацій відомих вітчизняних та зарубіжних вчених. Фундаментальні наукові дослідження в цій галузі виконали автори: Р. М. Басай, А. І. Горова, А. В. Павличенко, А. Ahmed Abdelhafez, Liu Lei, Soma Giri, Wanida Nobuntou та ін.

У гірничопромисловому регіоні (м. Червоноград, Львівська обл.) автор публікацій [4, 5] виявив незадовільну екологічну ситуацію – перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) забруднювальних речовин у поверхневих водах регіону, ґрунтах та повітрі, що в 28 раз більше ніж середній рівень забруднення в області.

У публікації [7] досліджувався негативний вплив відходів вуглевидобутку на стан об'єктів навколишнього середовища, виявлено важкі метали у ґрунтах породних відвалів ліквідованої шахти № 67, розповсюдження їх міграції на відстані 100 м від підніжжя відвалу, що створює підвищену екологічну небезпеку для навколишнього середовища.

Розглянемо дані досліджень, наведених у публікаціях [8–11]. В результаті екологічного моніторингу в гірничодобувних та промислових районах Китаю (уздовж річки біля м. Цзіньсі та навколо озера Ляньшань, провінція Сичуань) виявлено забруднення ґрунтів такими важкими металами як Cr, Cu, As, Se, Cd, Pb, Zn, що становить одну з екологічних проблем, викликаних швидким темпом індустріалізації [8].

У праці [10] виявлено за даними дев'ятирічних досліджень міського ґрунту в Шанхаї, Ганьсу, Цинхаї, Хунані та Аньхой перевищення допустимого значення індексу небезпеки (неканцерогенного ризику), натомість низький ризик спостерігався на півночі та заході Китаю.

Показовими стали дослідження [11], проведені для оцінки екологічних ризиків, що створюють метали (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) на інтенсивно оброблюваних

придорожніх сільськогосподарських ґрунтах штату Пенджаб, Індія. Авторам удалось виявити «сильний» рівень забруднення ґрунтів металами шляхом використання найбільш ефективного показника – індексу модифікованого ризику, який дозволяє виявити 67,86 % важких металів у пробах ґрунту. Натомість традиційний індекс екологічного ризику – лише 7,14 %.

Дослідженням проблеми забруднення населених пунктів у провінції Канчанабурі, район Чонг Фа Пхум (Таїланд) токсичними елементами (свинцем, кадмієм та миш'яком) із довколишніх шахт, присвячена публікація [9] авторів Wanida Nobuntou, Preeda Parkpian та ін.

Аналіз наукових публікацій показав гостроту проблеми як у світі, так і в Україні, що доводить актуальність проведених авторами статті досліджень.

Мета роботи

Формування бази даних для проектів інжинірингового забезпечення екологізації територій на основі результатів оцінення стану ґрунтів на прикладі м. Дніпро шляхом застосування статистичних методів та зонування території міста у вигляді ТІН-поверхні ТЗІ за допомогою ГІС-технологій – актуальна тема для визначення проблемних забруднених земель та поліпшення їх екологічного стану.

Створена база даних, що включає візуалізацію виділених та оконтурених ділянок міста з небезпечним рівнем техногенного забруднення, дозволяє їх уникати у процесі відведення земельних ділянок під житлову забудову, створення парків та зон відпочинку на землях, шкідливих для перебування та постійного проживання людей.

Виклад основного матеріалу і отриманих наукових результатів

Для оцінювання забрудненості ґрунтів Дніпропетровської області (м. Дніпро та м. Кам'янське) важкими металами застосуємо методику, описану в роботі А. І. Горової [4], відповідно до якої автори розраховували умовні показники забруднення УПЗі та інтегральні умовні показники

забруднення ґрунтів (ІУПЗ_i) за формулами (1, 2):

$$УПЗ_i = \frac{|P_{реал} - P_{комф}|}{|P_{крит} - P_{комф}|}, \quad (1)$$

де УПЗ_i – умовний показник забруднення, спричиненого дією різних факторів довкілля; P_{комф.} і P_{крит.} – експериментально встановлені значення рівня забруднення в комфортних і критичних умовах; P_{реал.} – реальне значення рівня забруднення в досліджуваному варіанті.

Різниця у знаменнику формули відображає амплітуду зміни числового значення параметра за впливу шкідливих факторів навколишнього середовища. Різниця у чисельнику показує ступінь порушення забруднення складових довкілля за впливу шкідливих факторів.

Для визначення інтегрального показника ІУПЗ_i застосовано формулу 2 [4]:

$$ІУПЗ_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n УПЗ_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|P_{реал} - P_{комф}|}{|P_{крит} - P_{комф}|}, \quad (2)$$

де ІУПЗ_i – один з інтегральних умовних показників забруднення стану навколишнього середовища.

Чим менші (ближчі до 0) значення УПЗ та ІУПЗ, тим кращі умови для життєдіяльності, і навпаки, з наближенням до 1 збільшується критичність отриманих значень.

У подальших розрахунках авторами прийнято, що P_{комф.} = 0, для оцінення рівня забруднення (РЗ) об'єктів довкілля використано шкалу, згідно з якою:

«низький» рівень забруднення (РЗ) (безпечна територія) в діапазоні оцінок УПЗ (0 – 0,25);

«середній» (помірно небезпечна територія) – (0,251 – 0,5);

«вище за середній» (небезпечна територія) – (0,501 – 0,75);

«високий» (надзвичайно небезпечна територія) – від 0,751 до 1,0.

Для спрощення розрахунків без втрачання їх актуальності автори статті запропонували спрощену формулу 3:

$$ІУПЗ_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n УПЗ_i = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{P_{реал}}{P_{крит}} \right|, \quad (3)$$

Розглянемо розрахунок показників УПЗ_i та ІУПЗ_i на прикладі забруднення ґрунтів важкими металами: рухомими формами (р.ф.) та валовим вмістом (в.в.) Cd, Co, Mg, Cu, Ni, Pb, Cr та Zn) за адресою вул. О. Гончара 16, м. Дніпро.

УПЗ(Cd_{вал.вм}) = 0,45/5 = 0,090 – в.в. Cd;

УПЗ(Cd_{рух.ф}) = 0,25/0,7 = 0,357 – р.ф. Cd;

УПЗ(Co_{рух.ф}) = 0,8/3 = 0,267 – р.ф. Co;

УПЗ(Mg_{вал.вм}) = 304/1500 = 0,203 – в.в.

Mg;

УПЗ(Mg_{рух.ф}) = 38,5/50 = 0,77 – р.ф. Mg;

УПЗ(Cu_{вал.вм}) = 22,2/55 = 0,404 – в.в. Cu;

УПЗ(Cu_{рух.ф}) = 0,71/5 = 0,142 – р.ф. Cu;

УПЗ(Ni_{вал.вм}) = 14,8/80 = 0,185 – в.в. Ni;

УПЗ(Ni_{рух.ф}) = 1,39/4 = 0,348 – р.ф. Ni;

УПЗ(Pb_{вал.вм}) = 44,8/30 = 1,5 – в.в. Pb;

УПЗ(Pb_{рух.ф}) = 11,1/2 = 5,5 – р.ф. Pb;

УПЗ(Zn_{рух.ф}) = 23,2/23 = 1,001 – р.ф. Zn;

УПЗ(Cr_{вал.вм}) = 34,9/90 = 0,388 – в.в. Cr;

УПЗ(Cr_{рух.ф}) = 0,76/6 = 0,127 – р.ф. Cr;

УПЗ(Zn_{вал.вм}) = 103/100 = 1,03 – в.в. Zn;

ІУПЗ = ΣУПЗ/n = 12,312/15 = 0,821.

Обчислений показник ІУПЗ вказує на високий рівень забруднення ґрунтів на дату взяття проб відповідно до протоколів дослідження якості ґрунту [6], а отже, за вказаною адресою, з точки зору екологічної безпеки, не бажано перебувати. В публікації [1] наведено аналогічні розрахунки за іншими адресами.

Проаналізувавши ці дані автори статті виявили зони з різним РЗ в межах м. Дніпро:

«середній РЗГ» – парк ім.

Пісаржевського, ресторан «Поплавок»;

– РЗГ, «вищий за середній» – пр. Нігояна,

Набережна Перемоги, вул. Березинська, пр. Гагаріна, Севастопольський парк, ж/м Сонячний,

пр. Мануйлівський, вул. Чорновола);

– «високий РЗГ» – вул. Гончара, 16,

парки Глоби та Шевченка);

– «надзвичайно високий» РЗГ – всі інші

досліджувані місця взяття проб ґрунту).

Отже, для відбору більш «екологічних земель» автори цієї статті рекомендують

ураховувати ступінь забрудненості ґрунтів важкими металами, попередньо обчисливши інтегральний уніфікований показник забрудненості ґрунтів за формулою (3).

При цьому ці дані можуть бути використані для з'ясування причин критичного забруднення досліджуваних ділянок.

Виконані розрахунки були актуальними на час обстежень, наразі ці дані вже застарілі, отже потрібні нові розрахунки, основані на сучасних даних моніторингових досліджень.

Підвищити ефективність сприйняття статистичної інформації дозволить візуалізація отриманих даних, тому автори рекомендують застосовувати сучасні програмні засоби, наприклад, ПК Surfer для побудови динамічних моделей зміни ступеня ТЗГ.

Програмний продукт Surfer, як відомо, призначений для обробки та візуалізації двовимірних наборів даних, що включає три основні функціональні блоки:

- а) побудова цифрової моделі;
- б) допоміжні операції з цифровими моделями;
- в) візуалізація.

Таким чином, йдеться вже про класичну дослідницьку задачу (що має пряме економічне значення) – вибрати оптимальну конфігурацію розміщення

мережі спостережних пунктів (вибір місць взяття проб у ґрунтах на наявність важких металів), що забезпечує необхідну якість отримання інформації (за допомогою інтерполяції) на деякій території.

У Surfer виконання подібних завдань забезпечується розрахунком та побудовою карт значень похибок інтерполяції, а також розширеними можливостями моделювання з використанням варіограм.

Для побудови динамічної моделі екозабруднення ґрунтів у м. Дніпро засобами Surfer використано плоскі прямокутні координати X, Y точок взяття проб ґрунту, та розраховані показники ІУПЗ.

Крок і колір ізоліній обираємо відповідно до показників ІУПЗ за «принципом світлофора»:

- білий колір – це низький рівень забруднення (РЗ) ($0 < \text{ІУПЗ} < 0,25$);
- зелений – «середній» ($0,251-0,5$);
- жовтий – рівень забруднення «вище за середній» ($0,501-0,75$);
- червоний – «високий» ($0,750 < \text{ІУПЗ} < 1$);
- чорний колір – «надзвичайно високий» («небезпечний») РЗ ($\text{ІУПЗ} > 1$).

Цифрова модель техногенного забруднення ґрунтів (ЦМ ТЗГ) м. Дніпро станом на 04.04.2008 р. та 08.08.2008 р. зображена на рисунку 1.

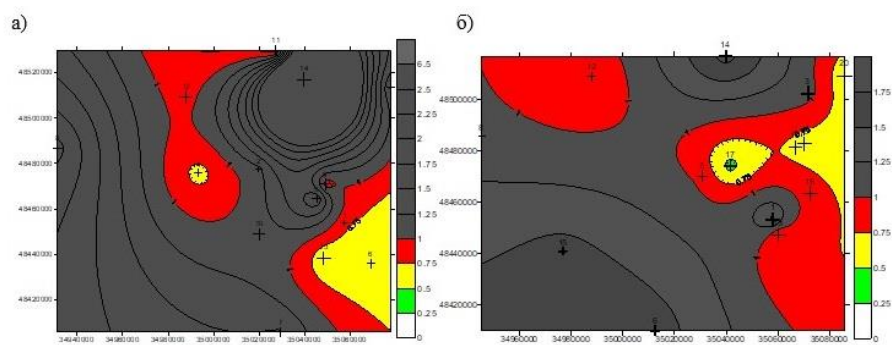


Рис. 1. ЦМ ТЗГ м. Дніпро: а – станом на 04.04.2008 р.; б – станом на 08.08.2008 р.

Також побудовано векторну карту досліджуваної території, на якій зображено

зміну напрямку ТЗГ (рис. 2) та 3D-модель розподілу ТЗГ (рис. 3).

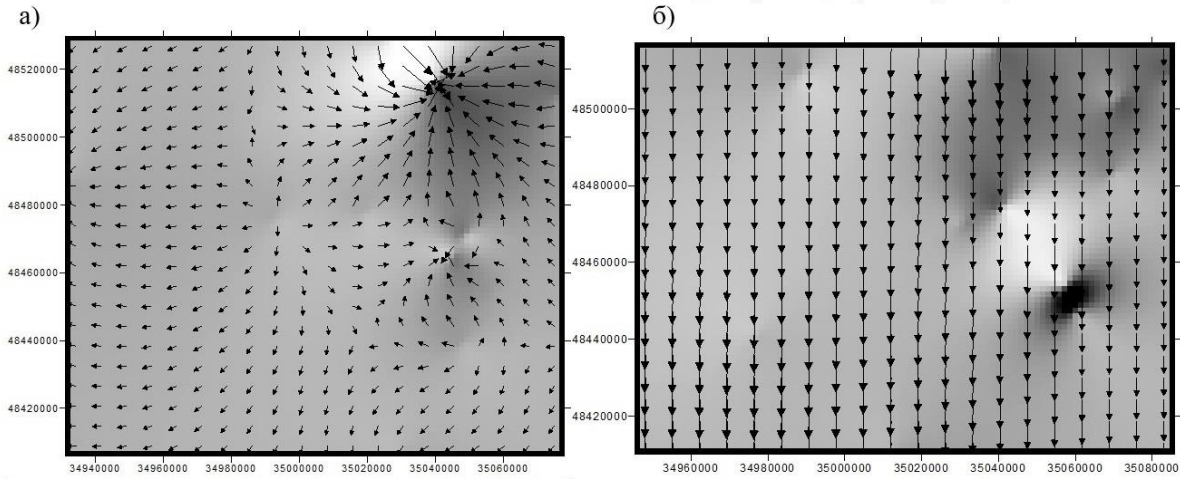


Рис. 2. Векторна карта ТЗГ м. Дніпро: а – станом на 04.04.2008 р.; б – станом на 08.08.2008 р.

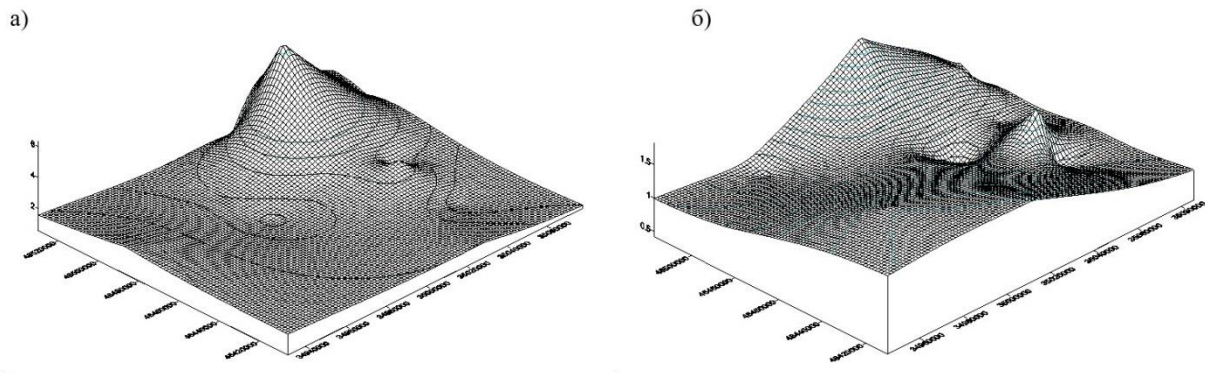


Рис. 3. Цифрова 3D-модель розподілу ТЗГ: а – станом на 04.04.2008 р.; б – станом на 08.08.2008 р.

У процесі порівняння створених ЦМ ТЗГ в динаміці виникло завдання з'ясування причин змін напрямку векторів (рис. 3 а, б) а також площі з небезпечним РТЗГ та появи невеликої за площею ділянки із середнім РЗ (рис. 1 а, б).

Упровадження ГІС відкриває можливість візуалізувати дані геоінжинірингових спостережень у вигляді 3D-моделей, TIN-

моделей гранично допустимої концентрації (ГДК) шкідливих показників у ґрунті.

Використовуючи ПК «ArcView» та результати досліджень якості ґрунту, створили базу даних перевищень у *n* разів ГДК важких металів у ґрунті (рис. 4), у різних районах м. Дніпро та виконали зонування території міста за ступенем ТЗГ.

Shape	ID	balzagr	adres	Marganets(ryx.f)	Mid(VAL.vmist)	Mid(ryx.f)	Svinets(VAL.vmist)	Svinets(ryx.f)	Zink(VAL.vmist)	Zink(ryx.f)
Point	1	9.04	Gonchara16	0.00	0.00	0.00	1.50	5.50	1.03	1.01
Point	2	12.50	pl/Ostrovskogo	0.00	0.00	0.00	1.80	7.20	1.70	1.80
Point	3	8.90	pr/Pravda	0.00	1.19	0.00	1.21	3.60	1.40	1.50
Point	4	5.00	pr/Kalinina	1.40	0.00	0.00	0.00	3.60	0.00	0.00
Point	5	26.80	pr/K.Marksa	3.40	5.30	4.00	2.60	5.70	2.70	3.10
Point	6	5.52	Hab.Peremoguy	1.20	0.00	0.00	1.02	3.30	0.00	0.00
Point	7	18.86	/m Topol'-1	4.30	1.10	0.00	1.80	8.00	1.70	1.96
Point	8	28.70	/m Kr.Kamen'	8.80	0.00	0.00	2.00	11.40	2.60	3.90
Point	9	8.91	Hab.Lenina	3.30	0.00	0.00	1.30	3.30	1.01	0.00
Point	10	30.20	pr/Kirova	1.90	0.00	0.00	18.00	7.80	1.20	1.30
Point	11	4.60	Beresinskaya	1.80	0.00	0.00	0.00	2.80	0.00	0.00
Point	12	11.30	Indyustrialnui	2.20	0.00	0.00	1.20	5.20	1.20	1.50
Point	13	6.19	pr/Gagarina	0.00	0.00	0.00	1.09	2.50	2.60	0.00
Point	14	94.10	Klochko	2.70	1.20	0.00	9.30	44.50	11.10	25.30

Рис. 4. Фрагмент бази даних перевищень ГДК важких металів у ґрунтах м. Дніпро створеної в ПК «ArcView»

Моніторинг ґрунтів виконала громадська організація «За право громадян на екологічну

безпеку» [6] протягом 2008–2009 рр. в різних частинах м. Дніпро для лабораторного

аналізу. За досліджувані важкі метали обрали лише ті, що при перевищенні рівня ГДК мають максимальні значення та становлять небезпеку для здоров'я людей: рухомі та

нерухомі форми марганцю, міді, свинцю та цинку, проте не були враховані дані, що знаходяться в межах допустимих значень.

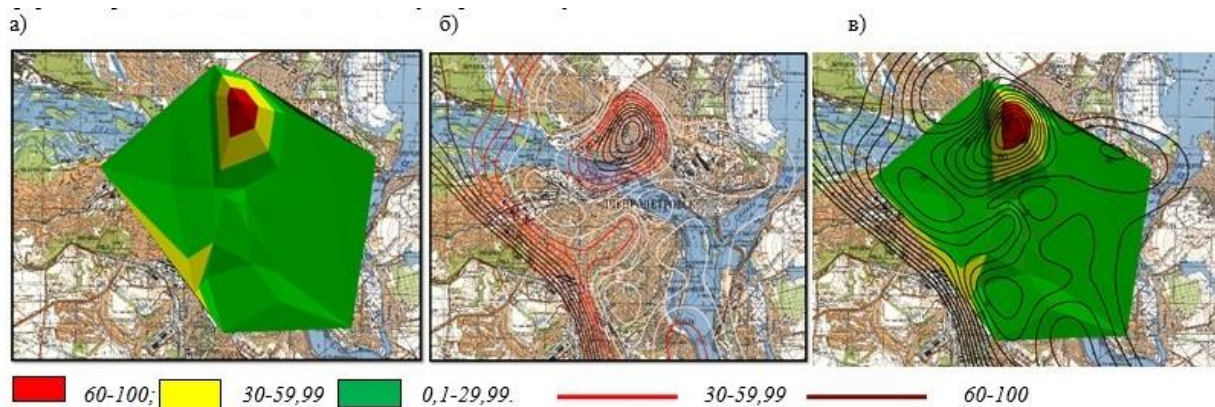


Рис. 5. Розподіл ТЗГ на території м. Дніпро станом на 2009 рік у вигляді:
а – TIN-поверхні; б – горизонталей; в – суміщеної моделі

Для візуалізації статистичної інформації в ПК «ArcView» побудовано TIN-поверхню розподілу техногенного забруднення ґрунтів на території м. Дніпро (рис. 5 а), розподілу ТЗГ в горизонталей (рис. 5 б), а також суміщену модель (рис. 5 в).

Аналіз існуючих даних про рівень техногенного забруднення земельних ресурсів показав, що отримані TIN-поверхні (рис. 5 а) значно відрізняються від побудованих у Surfer (рис. 2–4) і не можуть бути використані для достовірної оцінки ситуації з екологічного забруднення земель через вибір лише тих показників важких металів, що максимально перевищують ГДК. Проте кожен показник повинен бути врахований для отримання інтегрального умовного показника забруднення ґрунтів.

Оскільки дата останніх геоінжинірингових досліджень – 2009 рік, для умов мегаполісів з інтенсивними темпами та об'ємами техногенної діяльності людини ці результати застарілі й потребують оновлення.

Висновки та перспективи розвитку напрямку

Упровадження статистичних методів для оцінювання екологічного стану земель дозволить створити базу даних, яка із застосуванням сучасних ГІС-технологій може бути представлена графічно з додатковою атрибутивною інформацією.

Візуалізація динаміки зміни екологічного стану земель надає основу для більш ефективного і продуктивного використання отриманих даних у реальних інжинірингових проектах із поліпшення екологічного стану забруднених земель.

Для багатьох типів просторових операцій кінцевим результатом стає представлення даних у вигляді карти або графіка.

Застосування статистичних методів аналізу разом із ГІС-технологіями дозволяє проводити більш детальний аналіз, маніпулювання просторовими даними, їх візуалізацію у 3D-вигляді, а також виділяти дані, потрібні для конкретного завдання.

Підводячи підсумки виконаних досліджень, слід зазначити низку важливих моментів:

- достовірні дані про стан техногенно забруднених ґрунтів різних територій (міських, промзон, сільгоспугідь тощо) можна отримати за умови науково-практичного підходу до планування та організації комплексного державного моніторингу навколишнього природного середовища;

- отримані результати досліджень дозволять формувати бази даних для проектів інжинірингового забезпечення екологізації територій на основі результатів оцінювання екологічного стану ґрунтів шляхом застосування статистичних

методів та зонування території у вигляді TIN-поверхні ТЗГ за допомогою ГІС-технологій;

- використання статистичних методів та зонування території дозволяє вибрати оптимальну конфігурацію розміщення мережі спостережних пунктів (вибір місць взяття проб у ґрунтах на наявність важких металів), що забезпечує необхідну якість отримання інформації (за допомогою інтерполяції) на деякій території;

- для достовірної оцінки ситуації з екологічного забруднення земель кожен показник повинен бути врахований для отримання інтегрального умовного показника забруднення ґрунтів;

- можна проводити виявлення «підозрілих» даних (проблеми з відбором проб або неякісні виміри), визначати місця території, де спостерігається надлишок або нестача спостережних пунктів;

- запропоновано метод геометризації, який дозволяє графічно оконтурити на генпланах ділянки з високим рівнем техногенного забруднення ґрунтів на території м. Дніпро, застосовуючи ГІС-технології та статистичні методи для винесення в натуру за потреби та розробити проект інжинірингового забезпечення моніторингу конкретних територій з високим рівнем забруднення і його реалізації щодо нормалізації їх стану;

- аналіз РЗ ґрунтів важкими металами в м. Дніпро виявив місця, які з точки зору екологічної безпеки значно техногенно забруднені, що дає юридичну підставу для з'ясування причин критичних забруднень та встановлення винних для притягнення їх до відповідальності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антоненкова А. В., Ішутіна Г. С. Моделювання техногенного забруднення земель м. Дніпро. *Молодь : наука та інновації : матер. ІХ Всеукр. наук.-техн. конф. студ., аспір. і молодих вчених*. Дніпро : НТУ «Дніпровська політехніка», 2021. С. 147–148.
2. Басай Р. М. Правове регулювання техногенно забруднених земель в Україні. *Держава і право*. Київ, 2012. Вип. 56. С. 394–399.
3. Горбик В. М. Особливості екологізації в механізмі державного управління розвитком регіонів. *Державне управління*. 2018. № 1 (61). С. 55–60.
4. Горова А. І., Кулина С. Л. Екологічні проблеми стану довкілля Червоноградського гірничопромислового регіону. *Екологічні проблеми техногенно-навантажених регіонів : міжнар. наук.-практ. конф.* Дніпропетровськ, 2008. С. 111–112.
5. Гороя А. И. Научные основы экологического управления. *Екологічні проблеми техногенно-навантажених регіонів : матер. Міжнар. наук.-практ. конф.* Дніпропетровськ, 2008. С. 86–90.
6. К чему приводит превышение предельно допустимых концентраций веществ и физических факторов в среде обитания человека. Общественное движение Украины «За право граждан на экологическую безопасность». URL: <http://ecopravo.org.ua/2010/02/15/influence>
7. Павличенко А. В., Коваленко А. А. Екологічна небезпека породних відвалів ліквідованих вугільних шахт. *Геотехнічна механіка*. 2013. Вип. 110. С. 116–123.
8. Ahmed A. Abdelhafez and Jianhua Li. Environmental Monitoring of Heavy Metal Status and Human Health Risk Assessment in the Agricultural Soils of the Jinxi River Area. China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2014. Vol. 21, iss. 4. Pp. 952–971. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10807039.2014.947851?scroll=top&needAccess=true>
9. Wanida Nobuntou, Preeda Parkpian, Nguyen Thi Kim Oanh, Athapol Noomhorm R. D. Lead distribution and its potential risk to the environment : Lesson learned from environmental monitoring of abandon mine. Delaune and Aroon Jugsujinda. *Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 2010. Vol. 45, iss. 13. Pp. 1702–1714. URL: <https://doi.org/10.1080/10934529.2010.513232>
10. Liu Lei, Zhang, Xiuying and Zhong, Taiyang. Pollution and health risk assessment of heavy metals in urban soil in China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2016. Vol. 22, iss. 2. Pp. 424–434. URL: <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1078226>
11. Soma Giri & Abhay Kumar Singh. Ecological and human health risk assessment of agricultural soils based on heavy metals in mining areas of Singhbhum copper belt, India. *Human and Ecological Risk Assessment : an International Journal*. 2017. Vol. 23, iss. 5. Pp. 1008–1027. URL: <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1295224>

REFERENCES

- 1 Antonenkova A.V. and Ishutina H.S. *Modeliuvannia tekhnohennoho zabrudnennia zemel m. Dnipro* [Modeling of man-made pollution of the lands of the city of Dnipro]. *Molod : nauka ta innovatsii : materialy IX Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh vchenykh* [Youth : Science and Innovations : materials of the 9th all-Ukrainian scient. and techn. conf. of students, postgraduates and young scientists]. Dnipro : NTU “Dniprov Polytechnic” Publ., 2021, pp. 147–148. (in Ukrainian).
- 2 Basai R.M. *Pravove rehuliuвання tekhnohennoho zabrudnennykh zemel v Ukraini* [Legal regulation of man-caused contaminated lands in Ukraine]. *Derzhava i pravo* [State and Law]. Kyiv, 2012, vol. 56, pp. 394–399. (in Ukrainian).
- 3 Horbyk V.M. *Osoblyvosti ekolohizatsii v mekhanizmi derzhavnoho upravlinnia rozvytkom rehioniv* [Features of ecologization in the mechanism of public administration development of regions]. *Derzhavne upravlinnia* [Governance]. 2018, vol. 1, pp. 55–60. (in Ukrainian).
- 4 Horova A.I. and Kulyna S.L. *Ekolohichni problemy stanu dovkillia Chervonohradskoho hirnychopromyslovoho rehionu* [Ecological problems of the state of the environment of the Chervonohrad mining region]. *Ekolohichni problemy tekhnohennoho-navantazhenykh rehioniv : mizhnar. nauk.-prakt. Konf.* [Ecological problems of technogenically burdened regions : intern. science and practice conf]. Dnipropetrovsk, 2008, pp. 111–112. (in Ukrainian).
- 5 Gorovaya A.I. *Nauchnyye osnovy ekologicheskogo upravleniya* [Scientific foundations of environmental management]. *Ekolohichni problemy tekhnohennoho-navantazhenykh rehioniv : materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf.* [Environmental problems of technogenically burdened regions : materials of intern. science and practice conf.]. Dnipropetrovsk, 2008, pp. 86–90. (in Russian).
- 6 *K chemu privodit prevysheniye predelno dopustimykh kontsentratsiy veshchestv i fizicheskikh faktorov v srede obitaniya cheloveka. Obshchestvennoye dvizheniye Ukrainy “Za pravo grazhdan na ekologicheskuyu bezopasnost”* [What causes the excess of the maximum permissible concentrations of substances and physical factors in the human environment. Public Movement of Ukraine “For the right of citizens to environmental safety”]. URL: <http://ecopravo.org.ua/2010/02/15/influence> (in Russian).
- 7 Pavlychenko A.V. and Kovalenko A.A. *Ekolohichna nebezpeka porodnykh vidvaliv likvidovanykh vuhilnykh shakht* [Ecological danger of rock dumps of liquidated coal mines]. *Heotekhnichna mekhanika* [Geotechnical mechanics]. Vol. 110, pp. 116–123. (in Ukrainian).
- 8 Ahmed A. Abdelhafez and Jianhua Li. Environmental Monitoring of Heavy Metal Status and Human Health Risk Assessment in the Agricultural Soils of the Jinxi River Area. China. *Human and Ecological Risk Assessment : an International Journal*. 2014, vol. 21, iss. 4, pp. 952–971. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10807039.2014.947851?scroll=top&needAccess=true>
- 9 Wanida Nobuntou, Preeda Parkpian, Nguyen Thi Kim Oanh, Athapol Noomhorm R. D. Lead distribution and its potential risk to the environment : Lesson learned from environmental monitoring of abandon mine. Delaune and Aroon Jugsujinda. *Journal of Environmental Science and Health, Part A. Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*. 2010, vol. 45, iss. 13, pp. 1702–1714. URL: <https://doi.org/10.1080/10934529.2010.513232>
- 10 Liu Lei, Zhang, Xiuying and Zhong Taiyang. Pollution and health risk assessment of heavy metals in urban soil in China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2016, vol. 22, iss. 2, pp. 424–434. URL: <https://doi.org/10.1080/10807039.2015.1078226>
- 11 Soma Giri and Abhay Kumar Singh. Ecological and human health risk assessment of agricultural soils based on heavy metals in mining areas of Singhbhum copper belt, India. *Human and Ecological Risk Assessment : an International Journal*. 2017, vol. 23, iss. 5, pp. 1008–1027. URL: <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1295224>

Надійшла до редакції: 13.03.2023.