

© Н.В. Зуєвська¹, Л.В. Шайдецька¹, Т.В. Косенко¹, І.О. Матвійчук²

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

²ТОВ «ГЕОІНЖИНІРИНГ КОМПАНІ», Київ, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗОН ЗІ ЗМІННИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ҐРУНТОВИХ МАСИВІВ

© N. Zuievska¹, L. Shaidetska¹, T. Kosenko¹, I. Matviichuk²

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

²GEOENGINEERING COMPANY, Kyiv, Ukraine

PROGNOSTICATION OF ZONES WITH VARIABLE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SOIL MASSIFS

Мета. Використання геоінформаційних систем, зокрема Google Earth Pro і Golden Software Surfer, для прогнозування та візуалізації змін геологічної структури і створення 3D моделей територій забудови в центральній частині міста Києва.

Методика. Методика дослідження включала кілька етапів і комплексний підхід до аналізу техногенних ґрунтів у місті Києві. Проводились польові дослідження з відбором проб ґрунту в районі забудови для проведення лабораторних аналізів з ступенем концентрації техногенних відкладів. Моделювання та аналіз даних з створенням 3D моделей техногенних ґрунтів у програмному пакеті Surfer з інтерполяцією даних польових та лабораторних досліджень у ГІС для аналізу розподілу техногенних ґрунтів.

Отримані результати дослідження. Результати дослідження підкреслюють важливість комплексного підходу до аналізу та управління техногенними ґрунтами у міському середовищі, що сприяє підвищенню безпеки та ефективності будівельних процесів у Києві. На основі зібраних даних створено 3D моделі техногенних ґрунтів, що дозволило візуалізувати їх розподіл та оцінити ризики пов'язанні з будівництвом в умовах щільної міської забудови.

Наукова новизна. Розроблено методику дослідження розподілу геотехногенних ґрунтів в залежності від їх концентрації. Отримані залежності розподілу забруднення по глибині на території забудови Подільського району м. Києва. Запропоновано використання геоінформаційних систем для прогнозування розподілу та об'ємів ґрунтів зі змінними фізико-механічними характеристиками. Використання стільникових даних Google Earth Pro та створення 3D моделі дозволяє аналізувати концентрацію забруднення техногенними ґрунтами на урбанізованій території.

Практичне значення. Результати дослідження дозволяють краще розуміти геологічну будову техногенних ґрунтів та їх вплив на несучу здатність будівельних основ. Це допомагає уникнути можливих проблем зі стабільністю будівель та підвищує безпеку будівельних конструкцій. Використання геоінформаційних систем та 3D моделювання дозволяє зручно та точно прогнозувати розподіл техногенних ґрунтів на будівельних ділянках, що сприяє оптимізації проектних рішень та ефективному використанню ресурсів.

Ключові слова: техногенні ґрунти, геоінформаційні системи, прогнозування, концентрація будівельного сміття, будівництво, моделювання, програмний комплекс Surfer.

Вступ. Київ, як і багато інших великих міст, має складну геологічну структуру та різні типи ґрунтів, включаючи техногенні. У зв'язку з історичними подіями та інтенсивною забудовою, в Києві є значна кількість техногенних відкладів, таких як піски, глини та розрізи, які утворилися в результаті будівельних дій та ерозії. У центральних районах Києва переважають техногенні ґрунти, такі як заповнені піски, глини та вапняки. Ці ґрунти можуть бути змішані зі старими фундаментами будівель, руїнами та іншими конструкціями. Техногенні ґрунти у Києві можуть бути дуже неоднорідними у своєму складі та властивостях. Це може створювати виклики при проектуванні та будівництві, оскільки різні ділянки можуть мати різні характеристики ґрунтів.

Враховуючи унікальні характеристики техногенних ґрунтів у Києві, важливо проводити детальні геотехнічні дослідження перед будівництвом, розробляти відповідні інженерні рішення та використовувати заходи безпеки для забезпечення стабільності та надійності будівельних конструкцій.

Будівництво на техногенних ґрунтах може стикатися з різними проблемами через їхню непередбачувану природу та нестабільність. Ось деякі з найбільш поширених проблем і способи їх вирішення:

- неоднорідність ґрунту, а саме техногенні ґрунти часто мають неоднорідну структуру та склад, що може впливати на міцність та стабільність будівлі;
- суцільність ґрунту – деякі техногенні ґрунти можуть бути досить компактними або суцільними, що ускладнює процес забивання фундаментів чи проведення розрізів для інженерних споруд;
- нестабільність техногенних ґрунтів – багато техногенних ґрунтів мають низьку стабільність та можуть піддаватися рухом землі;
- забруднення ґрунту – техногенні ґрунти часто можуть містити хімічні забруднення або токсичні речовини, які можуть бути небезпечними для здоров'я та середовища.

Актуальність дослідження. Питання про деформаційні процеси в техногенних ґрунтах порушеної структури та зміну їх фізико-хімічного складу авторами було розглянуто [1, 2]. Зміни геологічної будови м. Києва, умови формування та закономірностей поширення техногенних процесів у геологічному середовищі варто розглядати, як частину важливої наукової проблеми взаємодії людини та природи. В роботі [3] зазначається, що існує пряма залежність між розвитком будівельного виробництва в місті Києві та зміною геологічної будови майбутніх будівельних майданчиків. Під час порівняння геологічної будови центральних районів Києва можна зробити висновки, що потужності шарів техногенного ґрунту зросли в середньому на 98 %. Також прослідковується зміна деяких фізичних характеристик, а саме: зменшення питомої ваги шарів та показника текучості, що характеризує консистенцію ґрунту. За період 10 років автор констатує що ґрунт, який спочатку класифікувався як супісок твердий, набуває фізико-механічні характеристики пластичного супіску. За рахунок зміни фізичних характеристик змінюється опір ґрунту, що призводить до непридатності ґрунту до забудови, або використання заходів для посилення основи забудови.

Прогнозування зон зі змінними деформаційними характеристиками у ґрунтових середовищах за наявності різної кількості домішок дозволяють передбачити їх поведінку в умовах щільної міської забудови [4–6].

Будівництво на техногенних ґрунтах вимагає додаткових уважності та підходів до проектування та будівництва, щоб забезпечити безпеку, міцність та стабільність конструкцій. Важливо ретельно аналізувати ґрунтові умови та використовувати відповідні інженерні рішення для вирішення будь-яких проблем, що можуть виникнути.

Викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для дослідження прогнозування зон зі змінними фізико-механічними характеристиками була обрана ділянка в межах 10 га по вулиці Глибочицькій, Шевченківського району міста Києва. Вулиця відома ще з кінця XVIII століття як частина давнього шляху від Подолу на Житомирську дорогу. Впорядкування та благоустрій на досліджуваній ділянці почався з 1906 року, це говорить про те що більше 100 років територія піддавалася видозмінам завдяки втручанню людини.

Для прогнозування використовувалися інженерно-геологічні вишукування виконані інженерно-геологічною групою ТОВ «Київгеоплан» у січні-квітні 2017 року та геотехнічною лабораторією ДП «Укрдіпродор».



Рис. 1. Ситуаційний план із нанесеними свердловинами

Особливе місце при прогнозуванні належить програмному продукту Google Earth Pro (Google Планета Земля), який поєднує в собі багато можливостей як класичних географічних карт так і спеціалізованих геоінформаційних систем. Сама база з мільйонів сателітних й аерофотозображень різних ділянок Землі, що

становить растрову основу Google Earth, є унікальним інструментом для вивчення ландшафтів, фізичної географії регіонів тощо.

На досліджувану ділянку (див. рис. 1) було нанесено 28 свердловин, глибиною від 50 до 60 м, потім визначили їх координати в системі UTM (Universal Transverse Mercator) та імпортували до Golden Software Surfer.

За допомогою Golden Software Surfer відповідно до координат (табл.) змодельовано поверхню та проведений її аналіз. На рис. 2 наведені ізолінії поверхні досліджуваної ділянки.

Таблиця

Вихідні дані для моделювання поверхні

| Hole ID | x | y | Z | concentration debris | Hole ID | x | y | Z | concentration debris |
|---------|-----------|------------|--------|----------------------|---------|-----------|------------|--------|----------------------|
| S1 | 322357.40 | 5593092.35 | 132.52 | 1.00 | S15 | 322354.68 | 5593026.18 | 121.35 | 6.90 |
| S2 | 322278.00 | 5593103.67 | 129.23 | 1.70 | S16 | 322338.56 | 5593036.26 | 121.50 | 7.00 |
| S3 | 322299.83 | 5593103.51 | 129.85 | 1.90 | S17 | 322351.44 | 5593068.06 | 129.06 | 8.30 |
| S4 | 322315.56 | 5593101.97 | 130.72 | 2.00 | S18 | 322368.70 | 5593061.62 | 129.28 | 6.70 |
| S5 | 322260.41 | 5593090.30 | 126.75 | 2.10 | S19 | 322402.87 | 5593075.73 | 126.68 | 0.80 |
| S6 | 322386.64 | 5593094.07 | 136.45 | 3.00 | S20 | 322426.66 | 5593059.33 | 123.92 | 1.30 |
| S7 | 322419.05 | 5593097.12 | 139.39 | 5.30 | S21 | 322368.74 | 5593124.57 | 139.90 | 6.90 |
| S8 | 322441.28 | 5593103.27 | 139.78 | 4.00 | S22 | 322398.35 | 5593132.22 | 143.24 | 5.40 |
| S9 | 322465.51 | 5593106.82 | 140.20 | 1.20 | S23 | 322247.62 | 5593071.17 | 124.81 | 4.90 |
| S10 | 322493.54 | 5593118.58 | 141.47 | 2.00 | S24 | 322336.52 | 5593128.44 | 139.50 | 6.00 |
| S11 | 322500.04 | 5593054.59 | 122.13 | 1.80 | S25 | 322300.09 | 5593046.52 | 123.44 | 9.60 |
| S12 | 322479.70 | 5593058.19 | 121.90 | 1.30 | S26 | 322278.30 | 5593048.53 | 123.14 | 8.40 |
| S13 | 322418.27 | 5593034.95 | 120.71 | 6.60 | S27 | 322515.59 | 5593113.15 | 141.34 | 0.90 |
| S14 | 322402.01 | 5593033.97 | 120.81 | 8.30 | S28 | 322316.71 | 5593065.38 | 123.34 | 0.60 |

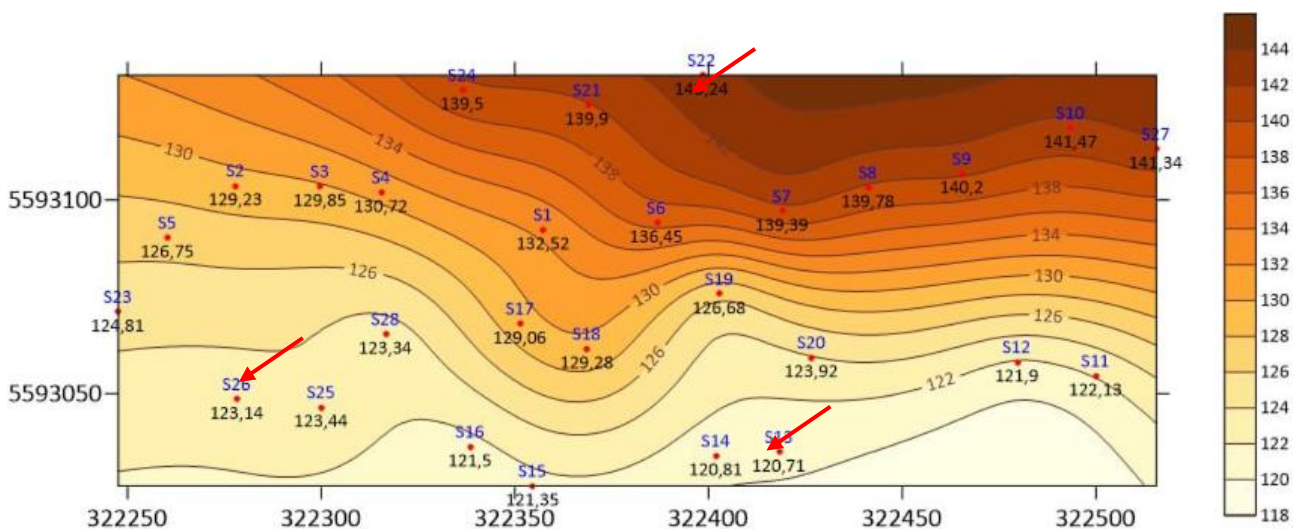


Рис. 2. Поверхня досліджуваної ділянки з абсолютними відмітками

Свердловина $S13$ – має *min* абсолютну відмітку 120,71, а $S22$ – *max* абсолютну відмітку 143,24, тобто перепад висот складає 22,53 м. Рельєф місцевості відноситься до складної конфігурації.

Використовуючи потужні інтерполяційні функції програми Golden Software Surfer перетворюють розрізнені дані на поверхні найвищої якості. Для інтерполяції статистичних даних було використано метод побудови сіткової функції (Inverse Distance to a Power). Цей метод ґрунтується на обчисленні вагових коефіцієнтів, за допомогою яких зважуються значення експериментальних Z -значень у точках спостережень при побудові інтерполяційної функції.

На рис. 3 наведені ізолінії концентрації «будівельного сміття» в ґрунтах із зміненими фізико-механічними характеристиками на досліджуваній ділянці.

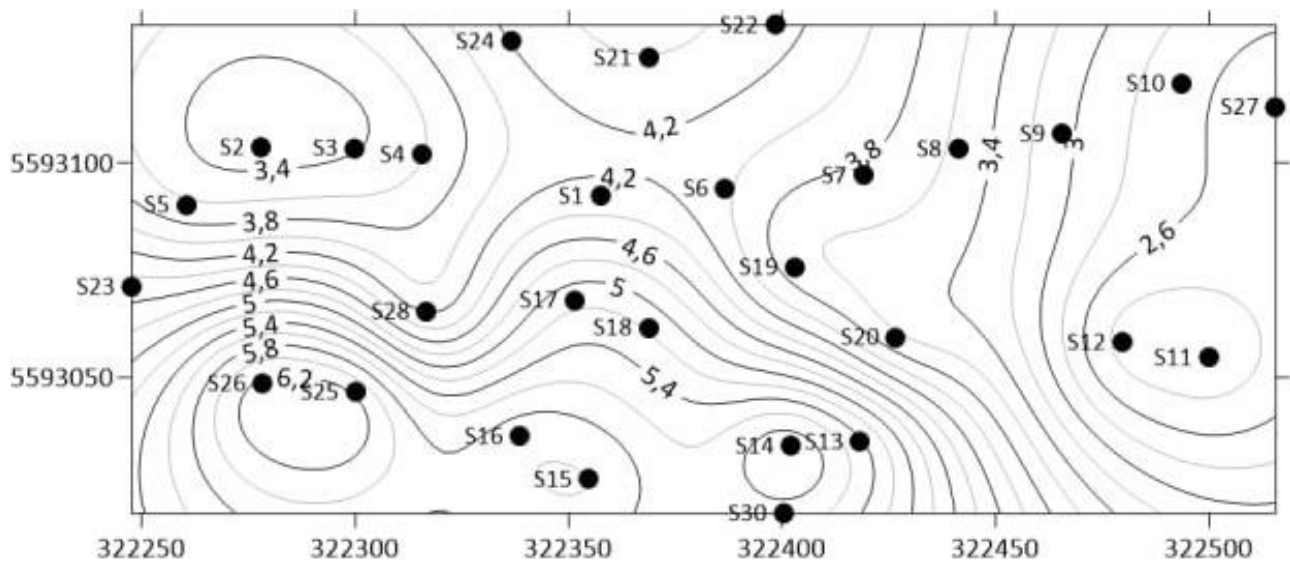


Рис. 3. Ізолінії концентрацій «будівельного сміття» при зрізі на висоті $z = 103,29$

Для визначення концентрації «будівельного сміття» задаємо контури свердловини та фіксуємо зріз при $z = 103,29$, а також задаємо рівнозначність від 1,0 до 9,0 (крок зміни концентрації приймаємо 0,5). Враховуючи складний рельєф зріз на якому фіксується концентрація «будівельного сміття» буде знаходитися на глибині для свердловини $S13$ – 17,42 м, відповідно для свердловини $S22$ –39,95 м. Проаналізувавши інформацію наведену на рис. 3 біля свердловини $S22$ на глибині 39,95 м, зустрічається найменша концентрація у межах 4,0...4,2 (рис. 4), а найбільша концентрація 6,2 – відображена в межах свердловини $S26$ на глибині 19,85 м (рис. 5), що перевищує мінімальне значення на 40...42%.

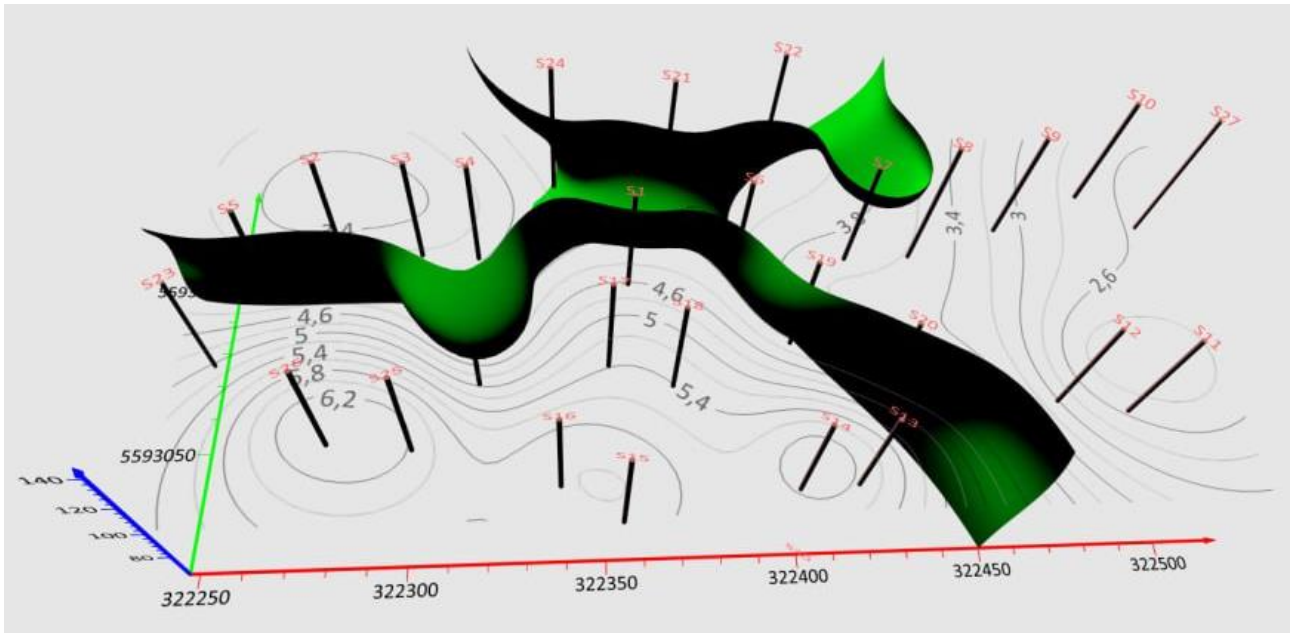


Рис. 4. Мінімальна концентрація «будівельного сміття» в межах свердловини S22

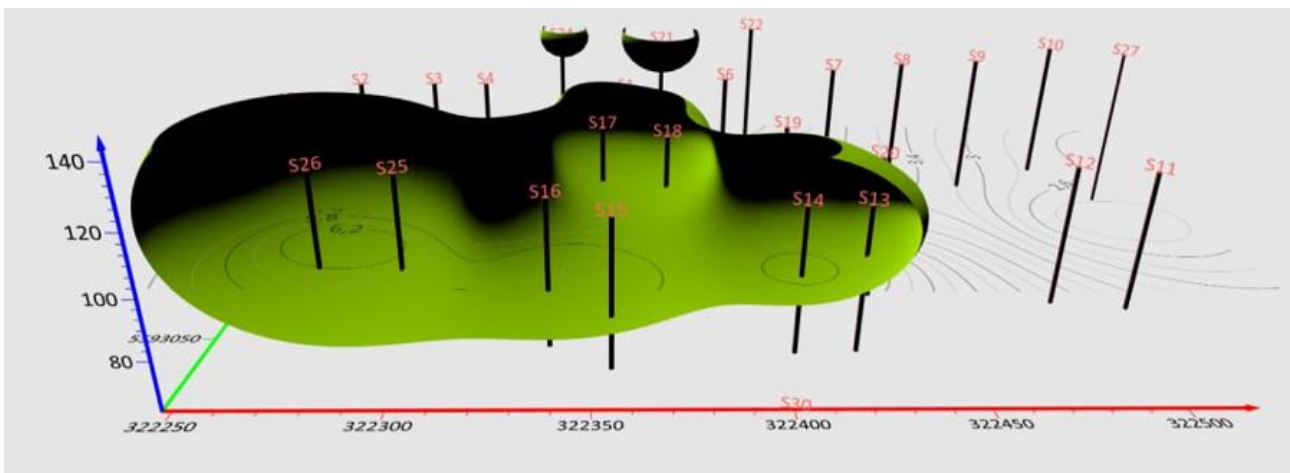


Рис. 5. Максимальна концентрація «будівельного сміття» в межах свердловини S26

Висновки: За багатолітній період розвитку та забудови Києва, ґрунтові масиви центральної часті міста із природного стану перетворилися в ґрунти з порушеною структурою. Результати проведених досліджень свідчать про зміну геологічної будови шарів техногенного ґрунту, що впливає на несучу здатність основ і відповідно вимагає обрання більш складних технологій будівництва на таких територіях з застосуванням заходів по посиленню ґрунтових основ. Використання геоінформаційних систем дозволить спрогнозувати розподіл зон з техногенними грантами на територіях забудови, розрахувати їх об'єми, визначити орієнтацію основних локацій техногенних грантів по глибині і допоможе обрати оптимальну технологію будівництва і напрямок проведення забудови території. Поєднання і накладання плану будівництва з стільниковими даними Google Earth Pro з подальшим створенням 3D моделі в пакеті Surfer масиву, з розподілом зон

техногенного ґрунту по різній концентрації забруднення, на думку авторів є перспективним аналізом сучасного урбанізованого простору.

Перелік посилань

1. Зуєвська, Н.В., Шайдецька, Л.В. & Булітко, К.О. (2017). Активация деформаційних процесів в техногенних ґрунтах. *Збірник наукових праць НГУ*, 50, 309–315. <http://znp.nmu.org.ua/pdf/2017/50.pdf>
2. Зуєвська, Н.В., Шайдецька, Л.В., & Булітко, К.О. (2017). Зміна фізико-хімічного складу ґрунтів у зоні техногенного впливу в міських умовах. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки*, 1, 160–165. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vzhdtu_2017_1_24.
3. Добровольська, А.О., & Кравець, В.Г. (2016). Зміна геологічної будови м. Києва з урахуванням техногенного впливу на ґрунти. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки*, 3, 136–142. <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/5561>
4. Демчишин, М.Г. (2001). Техногенні впливи на процеси в геологічному середовищі України. *Геологія в ХХІ столітті. Шляхи розвитку та перспективи*, 93–102.
5. Добровольська, А.О. (2016). Визначення стисливості техногенно порушеного ґрунту методом статичної обробки. *ІІІ всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Перспектива розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» : Тези 27–27 квітня*, 53–57. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/03/53-1.pdf>
6. Dobrovolskaya, A.O. (2016), The study of deformation characteristics of man-made soil at different variants of soaking. *Proceedings of the 10-th international scientific-practical conference of young scientists and students "Prospects for the development of construction technologies"*, April 21–22, 2016, 18–23. https://tech.vernadskyyournals.in.ua/journals/2018/1_2018/part_3/31.pdf

ABSTRACT

Purpose. The use of geographic information systems, in particular Google Earth Pro and Golden Software Surfer, to predict and visualize changes in the geological structure and create 3D models of built-up areas in the central part of Kyiv.

Methodology. The research methodology included several stages and an integrated approach to the analysis of man-made soils in the city of Kyiv. Field studies were carried out with soil sampling in the building area for laboratory analyzes with the degree of concentration of man-made sediments. Modeling and data analysis with the creation of 3D models of man-made soils in the Surfer software package with interpolation of field and laboratory research data into GIS to analyze the distribution of man-made soils.

The results of the study were obtained. The results of the study emphasize the importance of an integrated approach to the analysis and management of man-made soils in the urban environment, which contributes to improving the safety and efficiency of construction processes in Kyiv. Based on the collected data, 3D models of man-made soils were created, which made it possible to visualize their distribution and assess the risks associated with construction in dense urban areas.

Originality. A methodology for studying the distribution of geotechnogenic soils depending on their concentration has been developed. The dependencies of the distribution of pollution in depth on the building area of the Podilskyi district of Kyiv have been obtained. The use of geographic information systems for forecasting the distribution and volumes of soils with variable physical and mechanical characteristics is proposed. Using Google Earth Pro cellular data and creating a 3D model allows you to analyze the concentration of pollution by man-made soils in an urbanized area.

Practical value. The results of the study allow for a better understanding of the geological structure of man-made soils and their impact on the bearing capacity of building foundations. This helps to avoid possible problems with the stability of buildings and increases the safety of building structures. The use of geographic information systems and 3D modeling makes it possible to conveniently and accurately predict the distribution of man-made soils on construction sites, which contributes to the optimization of design solutions and efficient use of resources.

Keywords: *man-made soils, geographic information systems, forecasting, concentration of construction waste, construction, modeling, Surfer software package.*