

<https://doi.org/10.26565/2076-1333-2024-37-01>
УДК 004.9+911.3

Надійшла 04 листопада 2024 р.
Прийнята 16 грудня 2024 р.

Денис Серьогін

доктор філософії (спеціальність «Географія»), ст. викладач кафедри соціально-економічної географії
і регіоназнавства імені Костянтина Нємця,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна
e-mail: den.seryogin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>

Сергій Костріков

д. геогр. н., професор кафедри соціально-економічної географії і регіоназнавства імені Костянтина Нємця,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна
e-mail: sergiy.kostrikov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

ВИЗНАЧЕННЯ ПАТЕРНІВ УРБАНІСТИЧНИХ ГЕОСИТУАЦІЙ ЯК ОДИН З АСПЕКТІВ УРБОГЕОСИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ МІСТА

У статті подається один з аспектів урбогеосистемного аналізу міського середовища, який полягає у визначенні різно-рангових патернів урбаністичних геоситуацій (УГСит). Можливість утворення таких патернів обумовлена властивістю наявності УГСит, як структурних інваріантів урбогеосистеми (УГС). Виокремлення та дослідження патернів УГСит сприяє впорядкуванню міського середовища в межах урбогеосистемної моделі та забезпечує ефективний аналіз для вирішення проблем міста. Такі рішення можуть бути розповсюджені на весь патерн геоситуації як прийнятні до нього. У статті зазначається, що дані сутності формуються через систематичність та структурність міської забудови, яка змінюється залежно від історичного розвитку міста та комплексу факторів, зумовлених поточним станом розвитку суспільства, економіки та науково-технічного прогресу. Унаслідок цих змін сучасні міста з багатою історією складаються з низки різнорангових патернів УГСит, представлених різними типами забудови.

В якості типового прояву патернів в статті розглядається забудова різних типів землекористування (ТЗК). На підставі тривимірної моделі забудови м. Нью-Йорк у середовищі Mapbox studio в роботі виділено та охарактеризовано патерни комерційного, індустріального, інституційного та житлового ТЗК. Кожен з цих ТЗК має характерні властивості забудови, такі як щільність забудови, планувальна структура, розміри та архітектура будівель, за якими вони і виокремлюються в окремі патерни. У середовищі QGIS також побудовані карти розподілу патернів УГСит по території м. Вашингтон за такими параметрами, як щільність, площа та висота забудови, визначені з даних лідарної зйомки. У статті також досліджено динаміку забудови окремого патерну УГСит у м. Таллінн через моделювання та співставлення двох наборів лідарних даних, зібраних двічі на ділянці окремого патерну з інтервалом у чотири роки, що дозволило виявити об'єм та характер змін у забудові даного патерну за вказаний інтервал.

Ключові слова: урбогеосистема, геоситуаційний патерн, тип землекористування, міське середовище, урбаністичні дослідження, ГИС, лідарні дані.

Як цитувати: Серьогін, Д., Костріков, С. (2024). Визначення патернів урбаністичних геоситуацій як один з аспектів урбогеосистемного аналізу міста. *Часопис соціально-економічної географії*, 37, 7-21. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2024-37-01>

In cites: Serohin, D., Kostrikov, S. (2024). Delineation of urban geosituational patterns as a component of urban geosystem analysis. *Human Geography Journal*, 37, 7-21. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2024-37-01> [in Ukrainian].

Постановка проблеми. Сучасне місто являє собою складну та гетерогенну систему з багатовірневою комплексною організацією внутрішніх компонентів та зв'язків між ними. Місто постійно зростає, змінюється, розвивається – у ньому регулярно з'являються, змінюються та зникають різні об'єкти, а також протікають різні внутрішні процеси та взаємодії в ході щоденного міського функціонування [13]. Злагодженість таких взаємодій впливає на функціонування міста в цілому та на якості життя в ньому, що позначається на різних соціальних та економічних показниках. Тому відстеження таких взаємодій і процесів та розуміння залежностей між окремими

компонентами міста, а також їхніх відносин між собою, відкриває перспективи для розробки ефективних рішень, що покращують та стимулюють розвиток міського середовища. Уявлення міста як урбогеосистеми (УГС) в такому випадку може суттєво оптимізувати його дослідження, та сприяти кращому розумінню організації цього міста функціонування та специфіки його внутрішніх взаємодій.

УГС моделює місто у вигляді сукупності 2D-примітивів – точок, ліній та полігонів, а також 3D-примітивів – дискретних моделей будівель. Зазначені примітиви дозволяють оцифрувати та візуалізувати у формалізованому вигляді будь-який міський об'єкт,

явище чи відношення у середовищі геоінформаційної системи (ГІС), адже будь-яка векторна карта, змодельована в ГІС, завжди складається з вищезазначених примітивів [7]. Вказана можливість моделювання міста з усією його внутрішньою складною структурою у вигляді ГІС-карти відкриває широкий функціонал геоінформаційного аналізу, який може бути ефективно використаний і застосований у дослідженні міста, як УГС. Інформація про місто, яка може бути виявлена в результаті ГІС-аналізу характеризує урбогеосистемні властивості даного міста. Ці властивості є не очевидними при дослідженні міста поза системного уявлення міста і поза його моделювання у ГІС, однак вони проявляються саме у відношеннях і взаємозв'язках між просторовими об'єктами міста, які в свою чергу виявляються через ГІС-аналіз та моделювання міста, як УГС. Такі властивості відображають приховані деталі міського функціонування та дозволяють краще зрозуміти фактори та першопричини, що визначають поточну обстановку у місті [2]. Виокремлення таких властивостей міста через його ГІС-аналіз та моделювання визначає урбогеосистемний аналіз міського середовища.

Для позначення локалізованих властивостей УГС в обмеженому екстенті міського середовища нами вже раніше виокремлювалася категорія урбаністичної геоситуації (УГСит) – динамічного аспекту певного стану міського середовища у якому існують об'єкти, процеси і явища з урахуванням особливостей стану їх самих, і які знаходяться у діалектичній єдності з цим міським середовищем [11]. Однією з важливих властивостей УГСит є утворення різнорангових патернів УГСит зі спільними властивостями та природою походження. Виокремлення та дослідження таких патернів, по-перше, дозволяє певним чином впорядкувати та класифікувати міське середовище в рамках моделі УГС міста, а по-друге, дозволяє більш ефективно проводити урбогеосистемний аналіз міського середовища, зосереджуючись на конкретних властивостях і проблемах міста, рішення щодо яких надалі можна одразу розповсюджувати на цілий патерн УГСит, а не на лише окремі ділянки міста.

Мета статті полягає у викладенні впровадження урбогеосистемного аналізу міського середовища через виокремлення та аналіз різнорангових патернів урбаністичних геоситуацій.

Аналіз попередніх досліджень. Суспільно-географічні чинники до сучасного дослідження міст з позиції їх системних властивостей закладені ще у теорії «центральної місця» В. Кристалера. Відповідно до цієї теорії, міста формують певну структурну ієрархію, де широта спектру товарів і послуг, що надаються, зменшується від вищих до нижчих рівнів цієї ієрархії [15]. Така структурна ієрархічність, разом із зростанням складності міст та підвищенням ролі різнорідних міжміських комунікацій у XX столітті, стала підґрунтям для розгляду міст як особливих системних утворень – урбосистем.

У дослідженні М. Метерена наголошується, що системний підхід до вивчення міста передбачає його розуміння у функціональних термінах – зовнішнє географічне середовище, тобто межі міського сере-

довища чи міжміської системи, визначаються залежно від функцій міста [21]. Місто слід розглядати як точку перетину численних взаємопов'язаних урбосистем, які функціонують у різних масштабах – від районного до глобального.

У ряді досліджень, зокрема вітчизняних, урбосистема розглядається у контексті природокористування. Наприклад, М. Голубець визначає урбосистему як нестійку природно-антропогенну систему, що формується на урбанізованих територіях і включає техносистему, природну екосистему та соціальну систему [3]. Г. Мозер також зазначає, що урбосистема, як своєрідна екосистема – складається з елементів і систем, що забезпечують стійкість сформованого урбаністичного середовища [23].

Продовжуючи зв'язок міських систем з екосистемами не можна обійти стороною і поняття урбоекосистеми, що використовувалось багатьма вітчизняними та іноземним вченими [1, 22, 24, 25, 28, 29]. Характерною особливістю, що витікає з різних визначень урбоекосистем є наголошення на унікальності міського середовища, як окремої частини геопростору, зосередженої в чітко визначеному екстенті, в якому існує суттєвий взаємний вплив між техногенними елементами та природним середовищем. Зазначається, що у міському середовищі взаємодія природних екосистем з міською інфраструктурою призводить до просторового розчленування природних систем, а також до змін умов та режимів їх функціонування [1].

В суспільній географії, з урахуванням зазначеного тісного взаємозв'язку антропогенної системи і природної екосистеми в межах міського середовища, одним з авторів даної статті вводиться поняття *урбогеосистеми* – несталої природно-антропогенної системи, яка є сукупністю архітектурно-будівельних об'єктів та різко порушених екосистем, які колись існували і існують на території певного міста в визначеному екстенті географічного простору, що знаходиться під впливом жителів цього географічного простору [4]. Особливістю подання міста, як УГС, є чітко обумовлена можливість залучення ГІС до аналізу та моделювання УГС, що мало своє застосування в багатьох суспільно-географічних дослідженнях останніх 10 років.

В якості певного розширення урбогеосистемного підходу, та задля сприяння більш ефективного застосування в міських дослідженнях ГІС, даних дистанційного зондування, й зокрема даних лідарної зйомки, в одній з публікацій нами було виокремлене поняття урбаністичної геоситуації, як структурного інваріанту УГС [11]. При цьому зазначалося, що сама геоситуаційна парадигма була заснована ще у 1960-х роках здебільшого у західній англомовній географії [26]. В статті зазначалося, що саме через залучення поняття «урбаністичної геоситуації» геосистемний підхід може характеризувати обстановку, стани і функціонування географічних складових міського середовища, що складаються у цілісній УГС. А саме, йдеться про поєднання геоситуаційної парадигми із урбогеосистемним підходом при моделюванні фізичного міського довкілля через конструкцію урбаніс-

тичного середовища.

У вищезазначеній статті було окреслено три ключові властивості УГСит – структурна успадкованість, мінливість та повторюваність. Частина з цих властивостей так чи інакше вже була розглянута в ряді інших публікацій, зокрема, геоситуаційний підхід застосовувався при аналізі видимості міського середовища, оцінці чисельності населення по геометрії забудов та аналізі просторового розподілу енергоспоживання забудов [5, 6, 8]. У цих же публікаціях все частіше фігурують поняття урбогеосистемного аналізу міста та урбогеосистемних властивостей, як виокремлений результат такого аналізу. З огляду на результати досліджень в цих публікаціях, достатньо не розкритою, на нашу думку, властивістю УГСит залишається їх повторюваність, яка полягає у утворенні різнорангових патернів УГСит і також може бути важливим аспектом урбогеосистемного аналізу міста. Тож вищезазначене і обумовлює постановку вказаної раніше мети даної статті.

Виклад основного матеріалу.

Виокремлення патернів урбаністичних геоситуацій за тривимірними моделями забудов у інтефейсах EOS LiDAR Tool та MapBox Studio. Утворення патернів УГСит обумовлено наявністю певної систематичності та структурності у забудові міста, характер яких змінюється протягом історичного розвитку міста. Так, на певному етапі розвитку міста може бути актуальний певний набір вимог до розмірів та архітектури будівель, а також до щільності та типу забудови, що обумовлюється рівнем економічного, соціального, культурного розвитку міста, кількістю населення в місті, рівнем забезпеченості, рів-

нем освіти та стилем життя цього населення, політичним становищем у суспільстві, поточним рівнем науково-технічного прогресу, тощо [11]. Всі ці фактори на конкретному етапі розвитку міста формують певний комплекс уявлень про оптимальне планування забудови міста, чи окремих його районів. Саме з цих уявлень і формуються окремі патерни УГСит в контексті міської забудови. Протягом історичного розвитку міста, вищезазначені фактори також змінюються, розвиваються чи деградують, і разом з цими з цими змінами утворюються нові патерни УГСит. Таким чином, сучасні міста, які мають багату історію, складаються з ряду патернів УГСит.

Тривимірна модель забудови міста демонструє наявність численних повторюваних УГСит, які характеризуються спільними архітектурно-морфологічними рисами, планувальними особливостями та конфігураціями будівель. Дослідження однієї з таких геоситуацій у 3D-моделі дозволяє екстраполювати її урбогеосистемні властивості на інші ділянки міста, що мають аналогічний патерн УГСит, за умови його попередньої ідентифікації. Таким чином, аналіз і визначення таких патернів у великому масштабі можуть стати підґрунтям для оцінки стану міського середовища у більш дрібних масштабах. Однак, може йтися й про протилежний напрямок масштабування – великомасштабне подання території, якщо йдеться про сільську місцевість або передмістя. На основі ілюстрації, отриманої у хмарній платформі EOS LiDAR Tool (ELiT), показано результати автоматизованої екстракції будівель для візуалізації патерну забудови у передмісті польського міста Люблінєць (рис. 1).

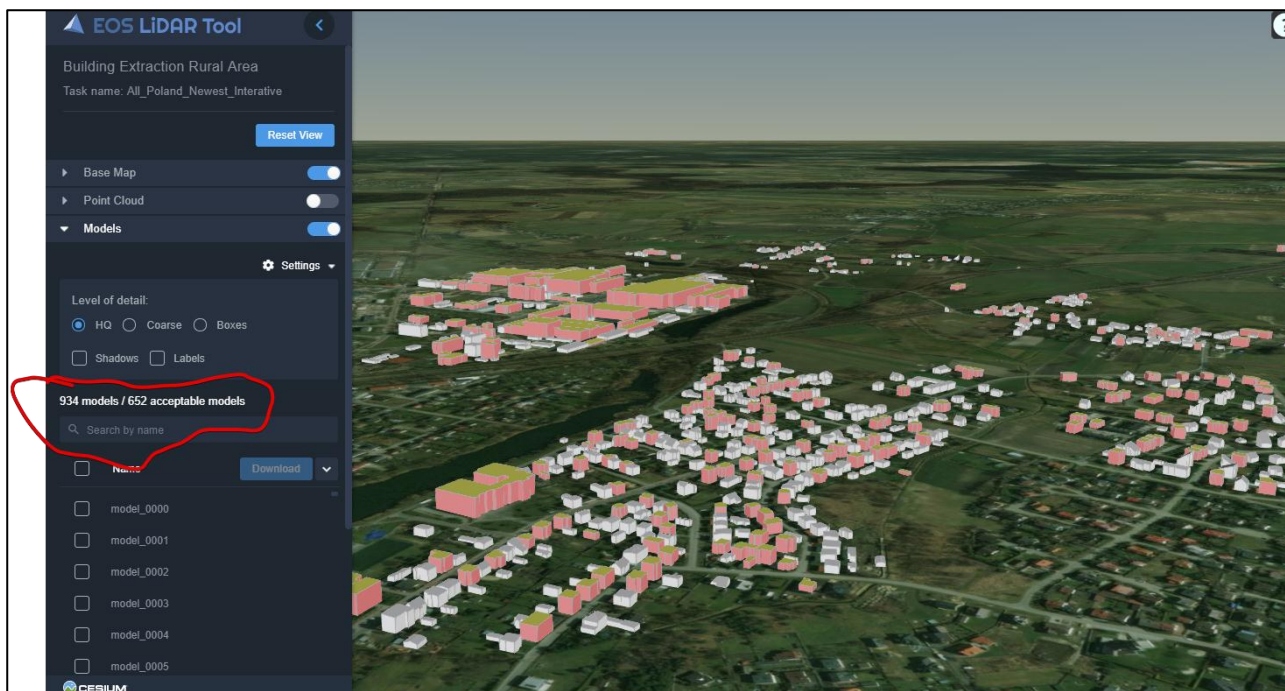


Рис. 1. Візуалізація патерну забудови передмістя (м. Люблінєць, Польща) у інтерфейсі хмарної платформи, у розробці якої автори приймали безпосередню участь

Fig. 1. Visualization of a suburban development pattern (Lubliniec, Poland) in the interface of a cloud platform, in the development of which the authors were directly involved

Похідні дані є результатом обробки хмар лідарних точок і представлені у вигляді тривимірних моделей, де кожна будівля класифікована за рівнем прийнятності моделі: із загальної кількості 934 моделей лише 652 визнані прийнятними щодо сталих критеріїв подання УГСит. Це свідчить про диференційовану якість екстракції цих, так званих *низькополігональних моделей* (на відміну від *високополігональних моделей* складаються з умовно малого числа багатограних геометричних тіл), яка залежить від особливостей вхідних даних, таких як точність лідарних зйомок, щільність точок у хмарі та параметри алгоритмів обробки. Через визначене співвідношення прийнятних моделей від їх загальної кількості можна обґрунтовувати певні критерії достовірності наявності УГСит. У контексті урбогеосистемного аналізу й виокремлення УГСит така візуалізація дозволяє не лише визначати геоситуаційні патерни через характеристики щільності забудови та морфології об'єктів, але й виявляти потенційні помилки чи аномалії, що впливають на загальну структурованість урбогеосистеми.

Кольорове кодування моделей будівель за бінарною схемою «прийнятна – неприйнятна», як на рис. 1, допомагає швидко оцінити їх відповідність реальним об'єктам, сприяючи більш точній просторовій ідентифікації певного патерну УГСит. Подібні дані можуть використовуватися для детального аналізу змін у забудові, оцінки динаміки урбаністичних процесів, створення високоточних карт планування, а також розробки сценаріїв для подальшого вдосконалення алгоритмів автоматизованої обробки великих масивів даних дистанційного міського зондування. У перспективі, це сприяє більш ефективному визначенню патернів урбаністичних геоситуацій, зокрема для прогнозування змін у забудові, моніторингу її стану або планування нових проектів у межах існуючої УГС. Таким чином, подібні локалізовані моделі (рис. 1) можуть відігравати важливу роль у плановому впорядкуванні міського середовища.

Аналіз сукупності 3D-моделей, що складають конфігурацію окремої УГСит, дозволяє визначити ключові властивості міського середовища, такі як щільність забудови, специфіку горизонтального та вертикального планування районів, а також архітектурну морфологію будівель [10]. Ці властивості можуть слугувати основою для ідентифікації характерних рис різних типів землекористування (ТЗК) у місті, а також виділення їх підтипів. Крім того, на підставі цих властивостей можна робити припущення щодо якості життя в межах конкретної геоситуації міського середовища.

Різні ТЗК в місті фактично є специфічними патернами УГСит, оскільки кожен із них, залежно від своєї функціональної спрямованості, має власні вимоги до оптимального планування та забудови міського простору. Наприклад, житловий ТЗК зосереджується на створенні комфортних умов для проживання населення, комерційний – на забезпеченні зручності доступу та інтенсивної комунікації між населенням, стартапами й бізнесами, а індустріальний – на компактному розташуванні виробничого

обладнання, складських приміщень і транспортної інфраструктури. Кожен із цих ТЗК характеризується специфічними вимогами до розмірів і розташування будівель, які формують їх унікальні урбогеосистемні властивості, що дозволяють їх ідентифікувати [14]. Аналізуючи особливості забудови для різних ТЗК на основі окремих геоситуацій, можна поглибити та уточнити існуючу класифікацію. Це також відкриває можливість оперативного визначати призначення нових будівель і ТЗК нових забудов у міських базах даних. Крім того, універсальна класифікація типів будівель стане корисною для вирішення завдань, пов'язаних з оцінкою чисельності населення або енергоспоживання будівель [27].

На кшталт наведеного вище прикладу (рис. 1) для тривимірної візуалізації та ідентифікації патернів УГСит використовуються різні ГІС-платформи, обрані залежно від поставлених завдань. Наприклад, базову тривимірну візуалізацію міської забудови на рівні *LOD1* можна реалізувати в середовищі *MapBox Studio*. Ця веб-ГІС платформа, яка базується на бібліотеці *OpenGL*, забезпечує інтерактивний інтерфейс із доступом до глобальної векторної карти *OSM* [9]. Користувач може створювати 2D і 3D карти, використовуючи відкриті геопросторові дані, а також гнучко налаштовувати їх оформлення та відображення. Будівлі на карті представлені у вигляді двовимірного векторного шару контурів будівель (футпринтів), до якого прив'язана інформація про висоту. Ці дані дозволяють трансформувати футпринти в тривимірні моделі рівня деталізації *LOD1* шляхом витягування висоти будівель за екстентом їх контурів [20]. Виокремлена таким чином модель цілком може використовуватись для виділення та аналізу патернів УГСит.

Спершу здійснимо аналіз УГСит, характерних для різних ТЗК в межах міської агломерації Нью-Йорка. Це місто є одним із найбільших у світі за низкою параметрів, зокрема за кількістю будівель, рівнем урбанізації та різноманітністю типів забудови. Завдяки цьому виокремлені властивості міського середовища Нью-Йорка можна вважати цілком репрезентативними для інших міст із подібними типами забудови.

Розглянемо окремих патерн комерційного ТЗК (рис. 2). Зазвичай цей тип історично виникає в центральній частині міста. Для нього характерна надвисока щільність забудови масивними будівлями як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках, а також значна різноманітність архітектурних форм. Комерційні зони часто включають численні висотні будівлі, що використовуються для офісів, торговельних і розважальних закладів. В таких районах сполучають найбільші вулиці міста, що призводить до високого навантаження на дорожню інфраструктуру, частих заторів і підвищеного рівня шумового забруднення. Зазвичай комерційний ТЗК збігається з історичним центром міста, хоча в деяких випадках такий тип може бути розподілений по інших частинах міської території, формуючи окремі вузли комерційної активності.

Індустріальний ТЗК (рис. 3) на відміну від комерційного, зазвичай розташовуються на околицях

міста та складається з порівняно невисоких, але дуже масштабних будівель. Висока щільність забудови в таких районах забезпечується саме великими розмірами будівель та споруд, а не їх чисельністю [11]. Будівлі цього типу призначені для розміщення потужного виробничого обладнання та значних складсь-

ких приміщень. Залежно від специфіки виробничої діяльності, індустріальні зони можуть чинити різноманітний негативний вплив на довкілля, що є причиною їхнього розташування на відстані від районів з високою щільністю населення.

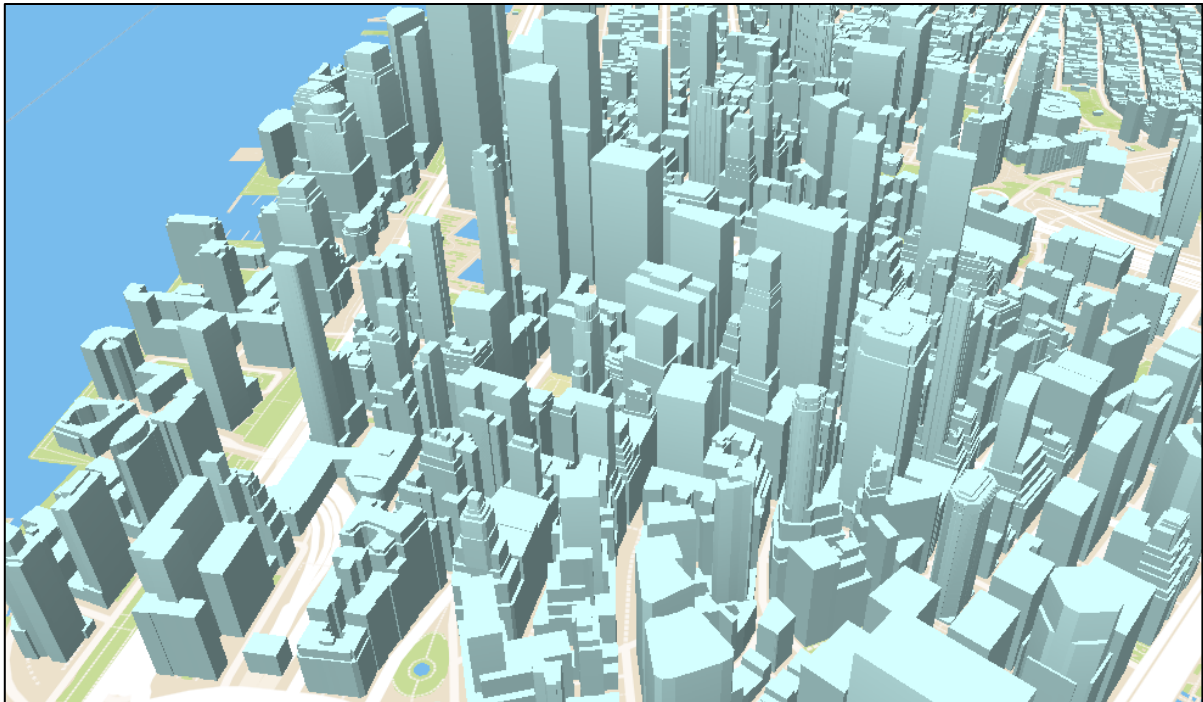


Рис. 2. Візуалізація патерну комерційного типу землекористування м. Нью-Йорк у середовищі Mapbox Studio
Fig. 2. Visualization of the commercial land use pattern in New York City in Mapbox Studio

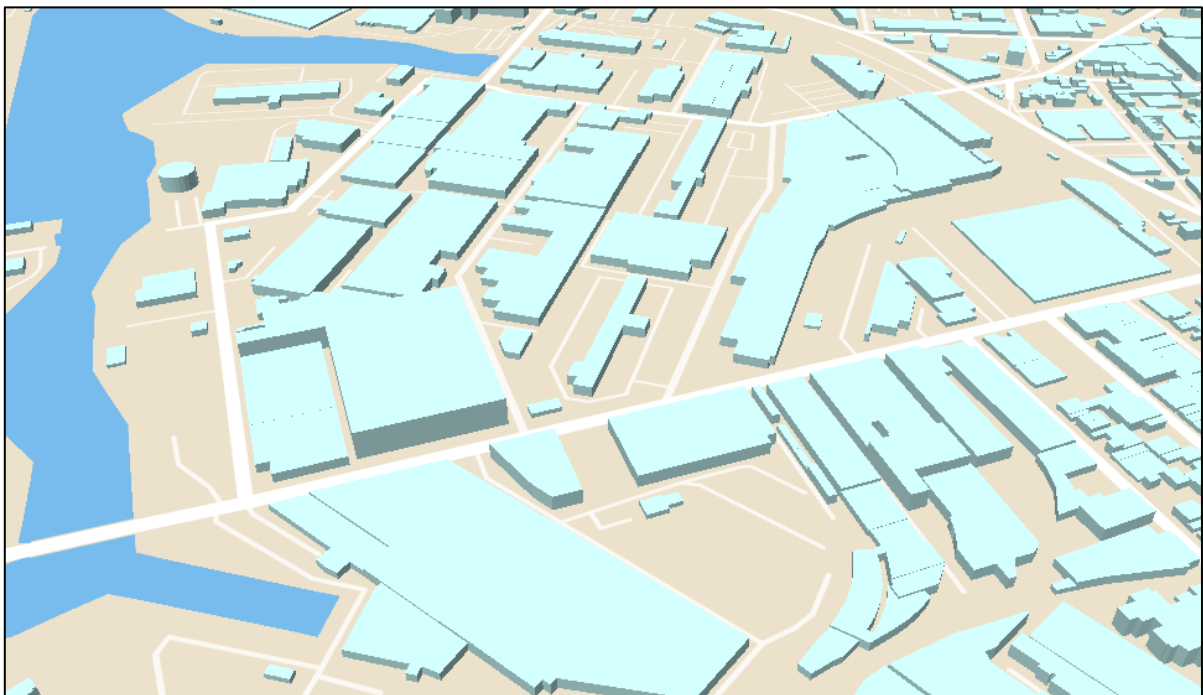


Рис. 3. Візуалізація патерну індустріального типу землекористування м. Нью-Йорк у середовищі Mapbox Studio
Fig. 3. Visualization of the industrial land use pattern in New York City in Mapbox Studio

Інституційний ТЗК (рис. 4) формує окремий патерн УГСит. Для цього типу характерне розташування на компактній території комплексу будівель, що належать одній установі, наприклад, школі, університету, лікарні або спортивному комплексу. Забудова цього ТЗК поєднує риси, властиві як комерційному, так і індустріальному ТЗК, описаних раніше. Зокрема, тут можуть бути як високі, так і масштабні за площею будівлі, але загальна щільність забудови

зазвичай залишається невисокою через наявність паркувальних зон та зелених насаджень. На відміну від індустріальних зон, інституційні території нечасто справляють негативний вплив на навколишнє середовище. Завдяки цьому вони часто розташовуються поблизу житлових районів і навіть можуть включати житлові об'єкти, такі як університетські гуртожитки.



Рис. 4. Візуалізація патерну інституційного типу землекористування м. Нью-Йорк у середовищі Mapbox Studio

Fig. 4. Visualization of the institutional land use pattern in New York City in Mapbox Studio

Найпоширенішим патерном УГСит у межах міста зазвичай є житловий ТЗК. Його можна розділити на численні низькорангові патерни, що відповідають різним підтипам житлової забудови, окремим житловим кварталам або періодам формування міської інфраструктури. Основною характеристикою житлового ТЗК, яка дозволяє відокремити його від інших ТЗК і виділити як високоранговий патерн, є чітка структурованість та уніфікація будівель (рис. 5). Форма, розмір, щільність забудови та її упорядкованість виступають ключовими параметрами для диференціації окремих низькорангових патернів житлової забудови. Відмінності у цих характеристиках зумовлюють різницю у якості життя в різних житлових районах міста, оскільки вони впливають на рівень щільності населення та доступність вільного простору [11]. Наприклад, багатоповерхові житлові масиви з високою щільністю забудови часто страждають на дефіцит паркувальних місць і громадських просторів, тоді як малоповерхові райони з помірною забудовою забезпечують кращий баланс між щільністю населення та доступністю простору для мешканців.

При порівнянні різних типів житлової забудови, представлених на рис. 5, стають помітними певні відмінності, які дозволяють поділити їх на окремі низькорангові патерни УГСит. Завдяки суто візуаль-

ному аналізу моделей цих УГСит можна зробити певну оцінку щодо якості життя в конкретних районах міста, складності їх обслуговування, а також оцінити потенціал для майбутніх будівельних проєктів, розвитку інфраструктури та розташування нових об'єктів обслуговування, громадських просторів чи станцій мобільного зв'язку. Очевидно, що таке попереднє оцінювання не є достатнім для чітких висновків щодо перерахованих аспектів, але на початкових етапах ГІС-аналізу воно може допомогти визначити області, що потребують подальшого глибшого дослідження з використанням додаткової атрибутивної інформації.

Оцінка патернів УГСит житлового ТЗК здійснюється, перш за все, на основі щільності забудови, як горизонтальної, так і вертикальної. Цей параметр свідчить про те, наскільки раціонально і ефективно використовуються міські простори в умовах інтенсивної урбанізації. Під раціональністю та ефективністю в даному контексті мається на увазі ступінь, до якої міський простір використовується таким чином, щоб розмістити максимально можливу кількість населення при збереженні комфортного рівня життя і належного функціонування території [10]. Це передбачає наявність розвинутої транспортної інфраструктури, доступ до громадського транспорту, паркувальних зон, громадських просторів та інших елементів місь-

кої інфраструктури. З урахуванням цього можна припустити існування певного порогу щільності забудови, перевищення якого призводить до значного зниження ефективності використання території. У великих містах зазвичай досягається оптимальне розміщення населення через поєднання двох можливих варіантів: висока горизонтальна щільність при

низькій вертикальній (компактна малоповерхова забудова) або низька горизонтальна при високій вертикальній щільності (розмірена високоповерхова забудова). Проте недостатнє регулювання урбаністичних процесів може призвести до розвитку районів із надмірною щільністю забудови, що в свою чергу викликає низку урбаністичних проблем.

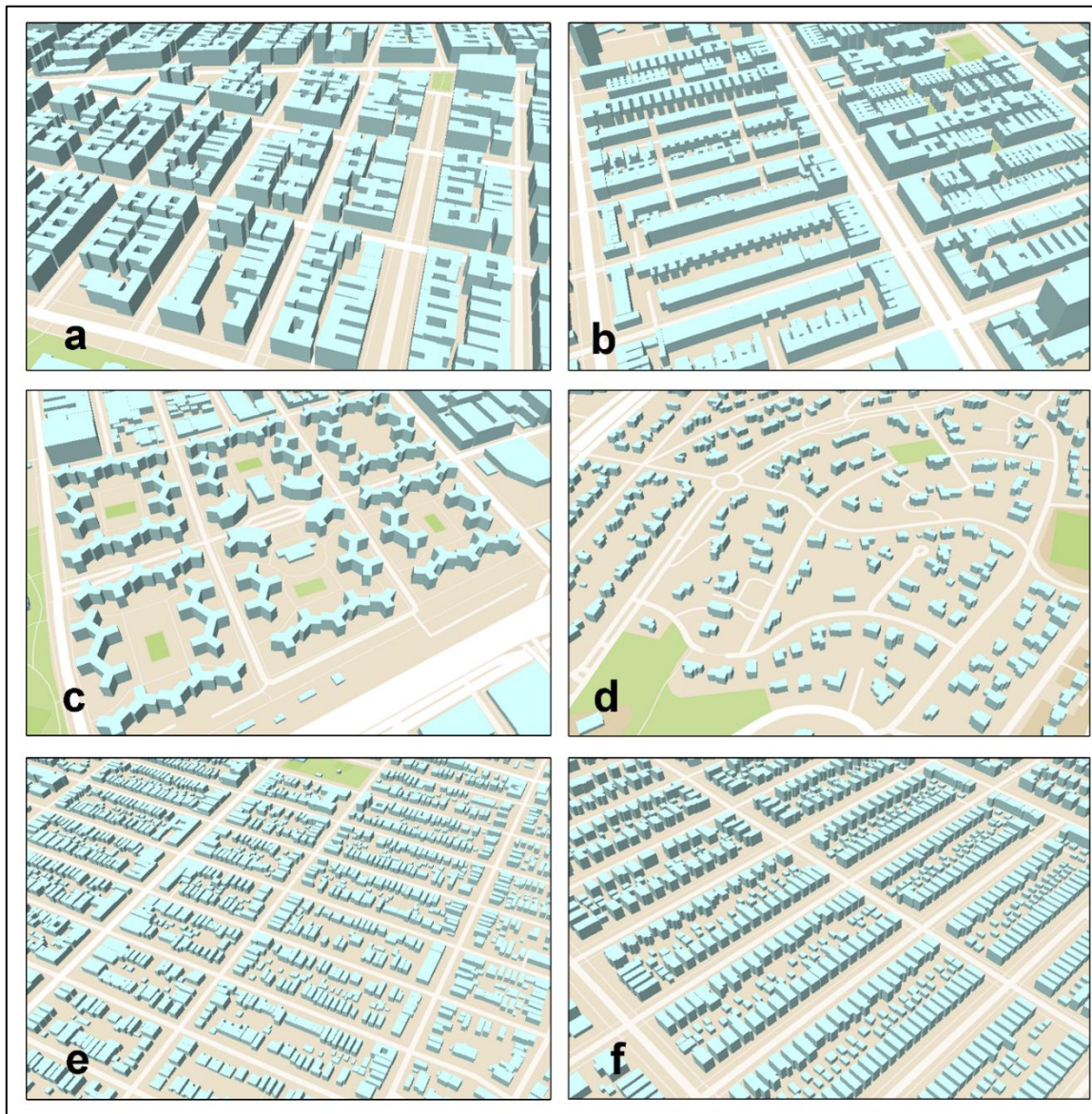


Рис. 5. Візуалізація патернів житлового типу землекористування м. Нью-Йорк у середовищі Mapbox Studio

Fig. 5. Visualization of the residential land use pattern in New York City in Mapbox Studio

Повертаючись до рис. 5, можна здійснити попередню оцінку шести основних патернів УГСит, базуючись на критеріях ефективного використання території. Зокрема, найбільш оптимальні забудови притаманні патернам на рис. 5с та 5f. У першому патерні представлена розмірена високоповерхова забудова, при якій між будівлями залишено достатньо вільного простору, що відповідає потребам у комфортному проживанні для мешканців багатоквартирних будинків. У другому патерні, незважаючи на більшу горизонтальну щільність забудови, кожен мешканець має більше індивідуального простору,

зокрема для особистого подвір'я та паркування. В обох випадках досягається оптимальний баланс між кількістю та розмірами будівель, з одного боку, та кількістю вільного простору – з іншого.

Патерн на рис. 5а вже є більш проблемним з точки зору ефективності використання простору, оскільки в ньому спостерігається надмірна щільність багатоквартирної житлової забудови. Відмінністю цього патерну від попередніх є відсутність достатнього вільного простору між будівлями, зважаючи на їх кількість та розміри. Як наслідок, такі житлові райони можуть зіткнутися з проблемами, зокрема

перевантаженим дорожнім рухом, нестачею паркувальних місць, шумовим забрудненням, затіненими вулицями тощо. Однак, завдяки розташуванню таких районів у близькості до міського центру, ці негативні фактори можуть бути частково компенсовані зручним доступом до необхідних послуг та рекреаційних зон. Подібна ситуація характерна і для патерну на рис. 5b, де, незважаючи на меншу висоту будівель, щільність забудови все одно є надмірною, а будівлі розташовані надто щільно одна до одної.

Патерн на рис. 5d характеризується низькою щільністю забудови, що може позитивно впливати на рівень життя у таких районах, адже тут відсутні типові урбаністичні проблеми, як перевантаження інфраструктури, шумове забруднення чи нестача зелених зон. Завдяки великому простору між будівлями, в такому районі можна очікувати високий рівень комфорту для мешканців. Проте, така забудова в умовах великих міст та мегаполісів має свої недоліки, оскільки займає значні території для розміщення незначної кількості населення. Оскільки населення швидко зростає в великих містах, застосування цього типу забудови вимагає великих ресурсів для прокладання інфраструктури та обслуговування території. Зокрема, обслуговування вулиць й енергозабезпечення можуть стати більш дорогими та складними в організації, порівняно з більш компактними рішеннями забудови. Тому, хоча цей патерн є оптимальним для малих міст та передмість, де вартість землі і щільність населення низька, у великих містах його застосування є менш доцільним через витрати на ресурси та земельні площі.

Стосовно патерну на рис. 5e слід відзначити досить високу безладність його забудови. У межах одного кварталу тут упереміш розташовуються будівлі різних розмірів і форм, через що щільність забудови також розподіляється нерівномірно по всьому району. У подібних житлових районах очікується висока диференціація якості життя серед місцевих жителів [2]. Крім того, через неоднорідність та хаотичність забудови, оптимізація міського обслуговування цієї території може стати досить складним завданням. Хоча цей патерн достатньо схожий на той, що на рис. 5f, територія останнього використовується набагато ефективніше.

Патерн на рис. 5e відрізняється високим рівнем безладності забудови. Це виражається у варіативності форм і розмірів будівель у межах одного кварталу, що призводить до нерівномірного розподілу щільності забудови. Через таку неорганізованість, район, що підпадає під цей патерн, ймовірно, може характеризуватись великою диференціацією якості життя серед мешканців. Відсутність чіткої впорядкованості забудови ускладнює міське планування та управління територією, що підвищує витрати на обслуговування таких районів. У порівнянні з цим, патерн на рис. 5f, хоча й має схожі властивості, виявляє набагато більш ефективне використання території, завдяки більш чіткому впорядкованому розподілу будівель і простору між ними. Це дозволяє забезпечити більш високий рівень комфорту проживання і оптимізувати обслуговування.

Аналіз просторового розподілу патернів урба-

ністичних геоситуацій у інтерфейсі QGIS. Для оцінки та аналізу патернів УГСит важливим є розгляд кількісних і геометричних характеристик будівель. Тому доцільно виділити ці параметри та занести їх у таблицю атрибутів векторного шару відповідних патернів у повповноформатній ГІС. Це дозволить виконати наочну візуалізацію розподілу щільності забудови на рівні всього міста, що надасть змогу виявити загальні тренди поширення урбогеосистемних властивостей. Для безпосереднього виконання цієї задачі можна скористатися настільним ГІС-застосунком QGIS 3.16.

Оскільки УГСит в рамках міської забудови мають складне та нечітке розмежування, для їх моделювання можна згенерувати сітку, що складається з однакових полігональних осередків на всій території міста. Кожен осередок може умовно представляти окрему УГСит. Сітку можна згенерувати в QGIS за допомогою інструменту *Create Grid*, де необхідно задати форму осередків (наприклад, шестикутний ромб), їх розмір (0.13 км²) та шар, який вони покриватимуть (наприклад, футпринти будівель досліджуваного міста). Як результат, до проекту додається новий полігональний шар сітки, що покриває екстент попередньо визначеного шару. Кожен осередок цієї сітки є окремим просторовим об'єктом (УГСит), до якого можна додавати атрибутивну інформацію.

Для визначення щільності забудови у межах осередків УГСит можна скористатися інструментом QGIS *Join attributes by location (summary)*. Цей інструмент дозволяє переносити атрибути з одного шару до іншого, враховуючи просторове перекриття між шарами. У нашому випадку потрібно перенести дані про площу будівель з шару футпринтів (рис. 6a) на шар сітки (рис. 6b). Для налаштування інструменту вибирається базовий шар (сітка) та шар для приєднання (футпринти), а також вказується геометричний предикат, що визначає просторові відносини (у даному випадку обирається 'Intersect'). Обираються також відповідні поля атрибутів, які треба додати, й спосіб зведення статистики. Таким чином для кожного осередку буде визначена сумарна площа забудованої території на основі даних з шару футпринтів. Для розрахунку та візуалізації щільності забудови нами було обрано місто Вашингтон, яке має компактне планування та різноманітну забудову, що робить його зручним для нашого запиту (рис. 6). Дані про об'єм та висоту будівель, що були використані при побудові карт, були виокремлені з лідарних даних, що розповсюджені у вільному доступі управлінням головного технічного директора округу Колумбія на ресурсі AWS [19].

Візуалізація щільності забудови за допомогою сітки ефективно показує загальний тренд зміщення щільності забудови та основні вектори урбаністичних процесів у місті. Як видно на рис. 6b, чітко виділяється центральне ядро міста, яке характеризується скупченням УГСит, забудованих більше ніж на 44%. Далі спостерігається поступове зниження щільності забудови в основному на північ та схід, що вказує на напрямки основного розширення та ущільнення міста. Карта на рис. 6b також дозволяє виявити різні патерни УГСит, які можна визначити як скупчення

осередків, що належать до одного класу на тематичній карті. Так, в околичних районах можна побачити кілька кластерів, забудованих на рівнях 5-12%, 12-18% і 18-25%. В межах кожного з цих кластерів, ймовірно, існуватимуть схожі характеристики забудови, що визначають утворення патернів УГСит.

Так само можна обчислити та відобразити інші

показники, що допомагають розкрити особливості міської забудови. Наприклад, для більш детального розуміння розподілу щільності забудови можна створити карти, що показують середню площу будівель і середню кількість будівель у кожному осередку (рис. 7).

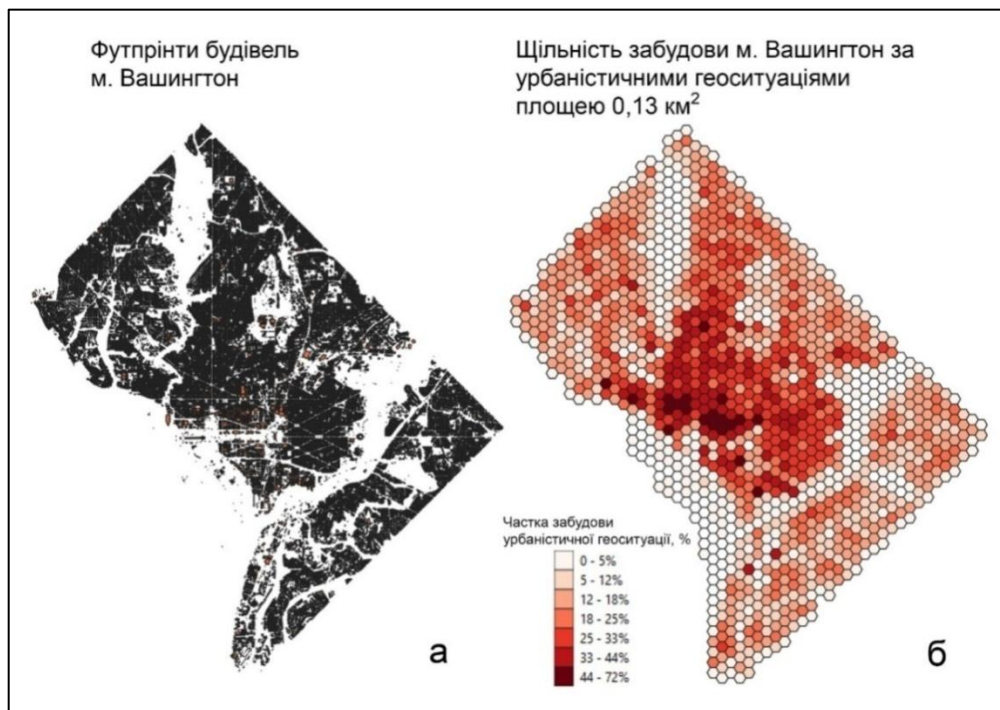


Рис. 6. Візуалізація щільності забудови за урбаністичними геоситуаціями у м. Вашингтон

Fig. 6. Visualization of building density by urban geosituations in Washington, DC

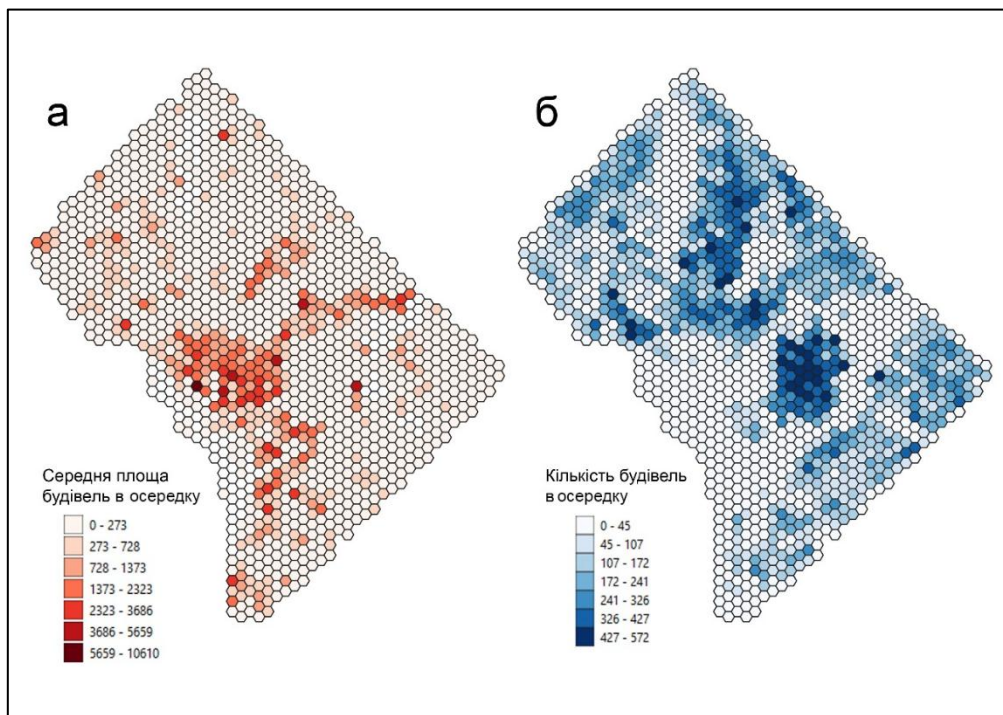


Рис. 7. Візуалізація середньої площі та кількості будівель за урбаністичними геоситуаціями у м. Вашингтон

Fig. 7. Visualization of the average area and number of buildings by urban geosituations in Washington, DC

На карті з рис. 7а видно, що основна частина міста представлена малоповерховою забудовою, де більшість будівель мають площу менше 273 м² – цей тип забудови переважно відповідає житловому ТЗК. Центральна частина міста чітко виокремлюється масивними, високоповерховими офісними і торговими будівлями, а також зокрема відмічаються кластери УГСит з великими будівлями, які типові для високоповерхових житлових масивів, індустріальних та інституційних ТЗК.

Карта на рис. 7б досить чітко ілюструє неоднорідність розподілу щільності забудови в районах з переважанням малоповерхових будинків. Насамперед виділяються геоситуації житлового ТЗК з різним плануванням і рівнем щільності забудови. Особливо виокремлюється житловий район, що знаходиться ближче до центральної частини міста, де кількість будівель може досягати 572 одиниць. Частка забудови в цьому районі може складати до 44%, що є досить значним показником у порівнянні з іншими частинами міста.

Загалом, обидві карти з рис. 7 представляють 2

різні аспекти щільності забудови міського середовища: в одному випадку висока щільність досягається через великі площі будівель, у іншому – через велику кількість будівель. Ці карти також чітко ілюструють властивості основних ТЗК в місті: значну кількість малих будівель, що характерно для житлового ТЗК, та невелику кількість великих будівель інших типів.

Як було зазначено на початку даної статті, геоситуативний підхід ефективно застосовується у роботі з даними лідарної зйомки. Ці дані зберігаються у файлах формату *LAS*, які зазвичай представляють собою тайли однакової площі, що покривають відскановану територію. За допомогою інструментів обробки лідарних даних на хмарній платформі *ELiT*, нами були згенеровані моделі будівель з таких тайлів, після чого були виокремлені висоти отриманих будівель у *CSV*-таблицю, яка надалі була перетворена в шар центроїдів у *QGIS*. Далі, з використанням інструменту "*Join attributes by location*", на основі висот будівель нами були обчислені середні значення висот для кожного тайлу і створена відповідна візуалізація (рис. 8).

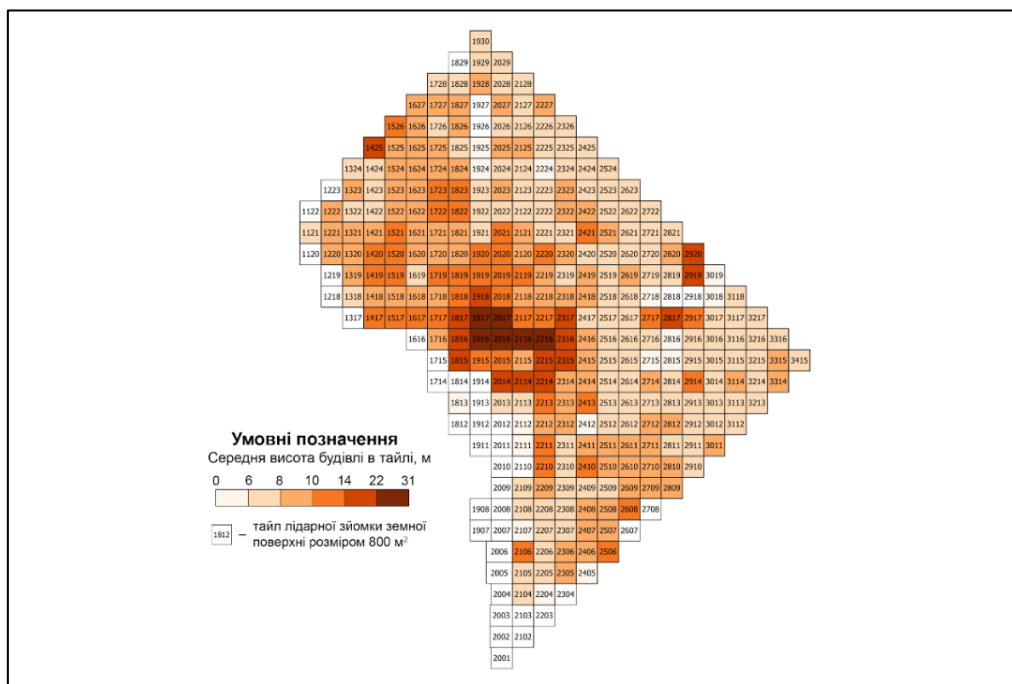


Рис. 8. Візуалізація розподілу висоти будівель за тайлами лідарних даних у м. Вашингтон
Fig. 8. Visualization of building height distribution by lidar data tiles in Washington, DC

Розподіл висоти будівель у Вашингтоні демонструє значну кореляцію з трендами щільності забудови, які були представлені раніше (рис. 7). Найвищі будівлі зосереджені в центральній частині міста, де домінує комерційний ТЗК, після чого спостерігається поступове зниження середньої висоти будівель на периферії, де переважає житловий ТЗК. У житловому секторі можна виділити принаймні три характерні УГСит, що відрізняються середньою висотою забудови: 6-8 м, 8-10 м і 10-14 м. Поєднавши ці дані з попередніми картами, можна краще уявити загальні пропорції міського розселення. Очевидно, що райони з більш високими будівлями будуть мати вищу чисе-

льність населення, на відміну від районів з невисокими будівлями.

За даними про загальну кількість будівель, середню площу та середню висоту будівель у місті Вашингтон, розрахованими для 350 тайлів лідарної зйомки площею 0,6 км², були побудовані графіки парних кореляцій (рис. 9).

Графіки на рис. 9 демонструють чітку взаємозалежність між різними параметрами забудови в місті Вашингтон. Зокрема, аналіз кореляції між кількістю будівель та середньою площею показує зворотну пропорційність: зі збільшенням числа будівель їх середня площа зменшується, при цьому зберігається

висока щільність забудови (рис. 9А). У порівнянні з цим, кореляція між кількістю будівель та середньою висотою виявляє менш виражену пропорційність, що вказує на нерівномірне розподілення висоти забудови по різних ділянках (рис. 9Б). Однак зв'язок між

середньою площею та висотою будівель є більш очевидним: зі збільшенням середньої висоти зростає й середня площа будівель, з максимальними значеннями в центральній частині міста, що підтверджується на відповідних картах (рис. 9В).

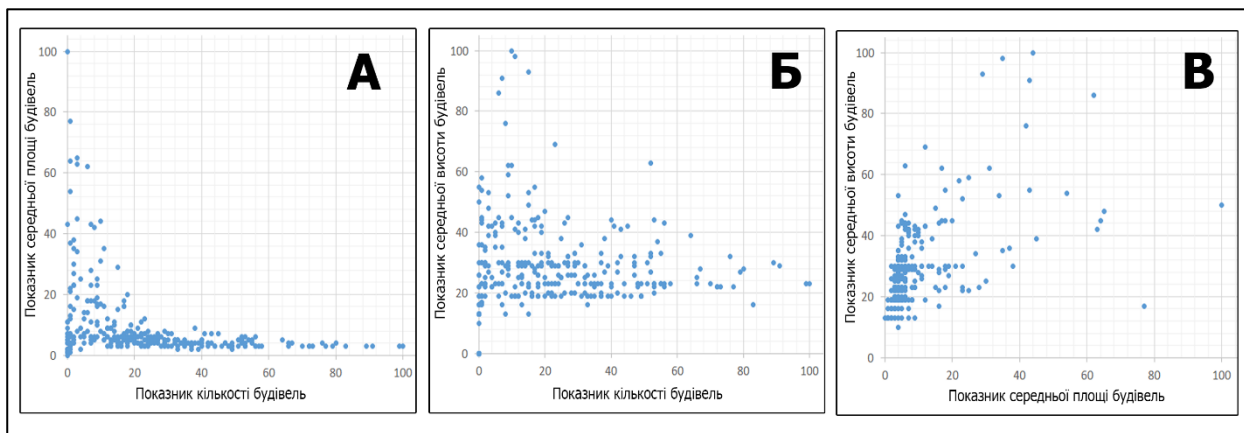


Рис. 9. Графіки кореляції показників щільності забудови у м. Вашингтон
Fig. 9. Correlation graphs of building density indicators in Washington, DC

Виявлення змін у забудові за окремими урбаністичними геоситуаціями у інтерфейсі настільного додатку City Change Management. Важливою складовою аналізу міського середовища на рівні патернів УГСит є також розгляд сценарію обробки лідарних даних, що дозволяє відстежувати зміни в міській забудові за певний період часу. Для цього потрібно зіставити два тайли лідарних даних, що охоплюють одну й ту ж територію, але між різними часовими реперами. Завдяки такому зіставленню можна виявити нові будівлі, побудовані за вказаний період, і на цій основі оцінити динаміку розвитку забудови в певному патерні геоситуації. Водночас можна також виявити знесені будівлі та проаналізувати, наприклад, рівень руйнувань територій, викликаних стихійними лихами або військовими діями.

Виявлення та ідентифікація УГСит, що відображають зміни у міській забудові, становлять важливий підготовчий етап дослідження. Для цього доцільно використовувати програмне забезпечення *Google Earth*, яке надає можливість порівнювати зображення земної поверхні, зроблені в різні часові періоди, та візуально відстежувати їх трансформації [17]. Провівши детальний аналіз обраної міської території, можна визначити окремі ділянки, на яких спостерігаються очевидні зміни у забудові. Ці території вважатимуться УГСит, для яких у подальшому слід розрахувати об'єм та характер змін із застосуванням лідарних даних.

Для зіставлення тайлів лідарних даних і виявлення змін нами застосовується функціонал настільного додатку *City Change Management (CCM)*, зокрема інструмент *Building Change Detector*. Цей інструмент зіставляє первинний та вторинний набори LAS-файлів та виокремлює з них 3D-моделі будівель, а також моделі змін, що характеризують різницю у забудові первинного та вторинного набору даних [12, 18]. У візуалізації результатів моделі змін позначаються червоним кольором, що вирізняє їх на фоні

незмінних об'єктів (рис. 10). В якості прикладу було обрано ділянку міської забудови в м. Таллінн, Естонія, яка активно забудовувалася в період із 2017 по 2021 рік. Для розрахунку використовувалися лідарні дані, завантажені з геопорталу Естонії [16].

Виокремлені зміни в межах зазначеної геоситуації здебільшого стосуються нових будівель і споруд, що були збудовані після 2017 року. На території площею 4 км² було зафіксовано 36 змін, з яких 31 належить до категорії "додано". Отримані результати дають змогу виявити основні тенденції міського розвитку, аналізуючи характер новозведених будівель, їхні розміри, особливості планування та темпи будівництва. У випадку виявлення знесених об'єктів ці дані можуть допомогти ідентифікувати ключові зони руйнувань, оцінити масштаб завданих збитків і запропонувати оптимальні рішення для відновлення втрачених споруд на основі доступних архівних моделей таких будівель.

До шару змін додається таблиця атрибутів, яка містить тип, координати, площу та об'єм кожної зафіксованої зміни. Цю таблицю можна експортувати у формат CSV і згодом перетворити на центроїди змін у середовищі *QGIS*, використовуючи поля з координатами. Далі ці центроїди можна зіставити з шаром футпринтів будівель, що дозволить створити двовимірну візуалізацію змін у межах поточної УГСит (рис. 11).

Виявлені зміни у забудові, винесені в середовище ГІС, розширюють можливості урбогеосистемного аналізу міського середовища. Використовуючи геометричні характеристики змін, можна створювати карти, що відображають динаміку змін по окремих УГСит. Якщо у нас є великий набір даних, що охоплює значну міську територію, ми можемо, наприклад, візуалізувати середні значення об'єму, площі та частки змін на одиницю площі, що відбуваються в умовних УГСит. Така візуалізація дозволяє виявити деякі урбогеосистемні властивості міста, що відо-

бражають динаміку його забудови та загальні тенденції в урбанізації конкретного міста. Використання даних про ТЗК дасть змогу відстежувати, які типи будівель розвиваються найбільше, яким чином забудовуються житлові райони, і наскільки цей процес відповідає темпам зростання міського населення.

Крім того, можна порівняти дані про інтенсивність будівництва з актуальними соціальними, економічними та демографічними показниками міста, що дозволить зробити комплексну оцінку міського розвитку.

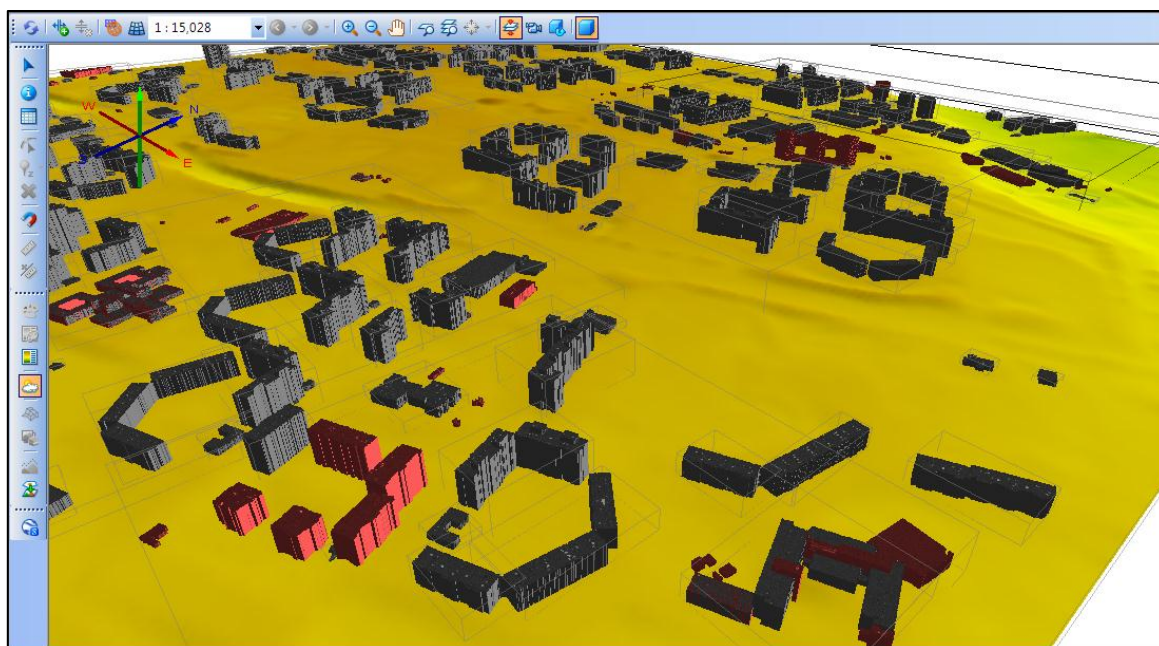


Рис. 10. Візуалізація результату виявлення змін у забудові м. Таллінн в період між 2017 і 2021 роком у середовищі CCM

Fig. 10. Visualization of the detecting changes result in buildings in Tallinn between 2017 and 2021 in the CCM environment

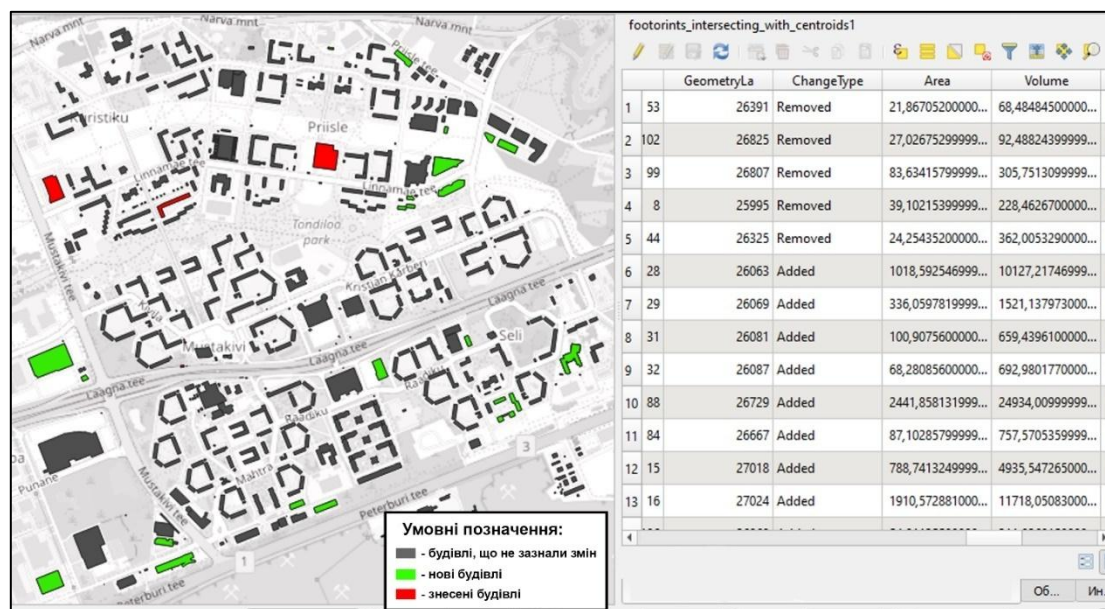


Рис. 11. Візуалізація змін у забудові м. Таллінн у середовищі QGIS

Fig. 11. Visualization of buildings changes in Tallinn in the QGIS environment

Висновки. Таким чином, властивість повторюваності урбаністичних геоситуацій, яка зумовлює утворення різнорангових патернів геоситуацій, відкриває можливості до більш ефективного та зосере-

женого аналізу міського середовища на окремих його ділянках із подальшим виокремленням загальних урбогеосистемних властивостей міста. Ці властивості дозволяють отримати більш комплексну

оцінку поточного стану міського середовища, виявити та окреслити певні урбаністичні проблеми та знайти шляхи для їх вирішення.

Окрім того, виокремлення патернів УГСит дає змогу окреслити ключові особливості кожного такого патерну в конкретному місті. На основі цих особ-

ливостей можна класифікувати, систематизувати у ГІС-середовищі, та надалі розробляти й застосовувати певний комплекс заходів, спрямованих на обслуговування та оптимізацію кожного окремого патерну залежно від його характеристик та проблем.

Список використаної літератури:

1. Бардов В.Г., Федоренко В.І., Білецька Е.М. Основи екології: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Вінниця, 2013. 424 с.
2. Безрук В., Костріков С., Чуєв О. ГІС-аналіз функції урбогеосистеми з метою оптимізації розміщення закладів громадського харчування (на прикладі м. Харків). Часопис соціально-економічної географії. 2017. Вип. 21(2). С. 91-101. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2016-21-13>
3. Голубець М.А. Геосоціосистемологія. Львів, 2013. 264 с.
4. Костріков С.В., Чуєв О.С. Аналіз дворівневих урбогеосистем через засоби ГІС. Вісник Харківського національного університету. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2016. Вип. 44. С. 98-109. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-44-13>
5. Костріков С., Серьогін Д., Бережний В. Візуальний аналіз урбаністичного середовища як складова урбогеосистемного підходу. Часопис соціально-економічної географії. 2021. Вип. 30(1). С. 7-23. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01>
6. Костріков С., Серьогін Д. Локалізований урбогеосистемний аналіз через лідарні дані для формалізованої оцінки чисельності міського населення. Часопис соціально-економічної географії, 2024. Вип. 36. С. 7-25. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2024-36-01>
7. Костріков С.В., Кулаков Д.Л., Сегіда К.Ю. Програмне забезпечення ГІС для LiDAR-технології дистанційного зондування в цілях аналізу урбогеосистем. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. 2014. Вип. 19. С. 45-52. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbgo_2014_19_12
8. Серьогін Д., Костріков С. Просторова оцінка енергоспоживання забудов на підставі тривимірного моделювання міського середовища. Часопис соціально-економічної географії. 2023. Вип. 34. С. 27-41. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34>
9. Серьогін Д.С. ГІС-моделювання та тривимірна візуалізація міської забудови в середовищі веб-ГІС порталу Mapbox. Регіон – 2021: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 21 жовтня 2021 р.). Харків, 2021. С. 157-159.
10. Серьогін Д.С., Костріков С.В. Виокремлення урбаністичних геоситуацій в міському середовищі. Сьомі Сумські наукові географічні читання: збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції (м. Суми, 14-16 жовтня 2022 р.). Суми, 2022. С. 129-133.
11. Серьогін Д.С., Костріков С.В. До питання виокремлення урбаністичних геоситуацій. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». 2022. Вип. 58. С. 241-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-19>
12. Серьогін Д.С., Костріков С.В. Переваги лідарних даних для відстеження та оцінки руйнувань міської забудови під час воєнних дій. Регіон – 2022: стратегія оптимального розвитку: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 24 листопада 2022 р.). Харків, 2022. С. 180-184.
13. Топчієв О.Г. Суспільно-географічні дослідження: методологія, методи, методики. Одеса, 2005. 632 с.
14. Cheer B.C. Urban morphology as a research method. Planning Knowledge and Research / Edited by T.W. Sanchez. New York, 2017. P. 167-181. <http://dx.doi.org/10.4324/9781315308715-11>
15. Christaller, W. Central Places in Southern Germany / Translated by C.W. Baskin. NY, 1967. 230 p.
16. Download Elevation Data. Avaleht Geoportaal Maaamet. URL: <https://geoportaal.maaamet.ee/eng/Maps-and-Data/Elevation-data/DownloadElevation-Data-p664.html>
17. Introduction – Google Earth User Guide. Google Earth. URL: <https://earth.google.com/intl/ar/userguide/v4/index.htm>
18. Kostrikov S., Niemets L., Robinson D. [and other]. Delineation of the Hostilities' Impact on Urban Environment by LiDAR Data Processing (a Case Study of Kharkiv). In: Morar, C., Berman, L., Erdal, S., Niemets, L. (eds). Achieving Sustainability in Ukraine through Military Brownfields Redevelopment. NATOARW 2023. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. 2024. P. 265-278. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2278-8_22
19. LiDAR Data for Washington DC is Available as an AWS Public Dataset. Amazon Web Services. URL: <https://aws.amazon.com/ru/blogs/publicsector/lidardata-for-washington-dc-is-available-as-an-aws-public-dataset/>
20. Mapbox Studio manual. Mapbox. URL: <https://docs.mapbox.com/studiomanual/guides/>
21. Meeteren M. Urban System. The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies / Edited by A.M. Orum. John Wiley & Sons, 2019. P. 1-11. <https://doi.org/10.1002/9781118568446.eurs0400>
22. Mollashahi H., Szymura M. Urban Ecosystem: An Interaction of Biological and Physical Components. Biodiversity of Ecosystems / Edited by L. Hufnagel. INTECH Open, 2021. P. 1-14. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97742>
23. Moser G., Pol E., Bernard M. [and other]. People, places, and Sustainability. Gottingen, 2013. 340 p.

24. Pickett S.T.A. Urban ecosystem Human Impact, Biodiversity & Pollution. Encyclopedia Britannica. URL: <https://www.britannica.com/science/urbanecosystem>
25. Srinivas H. Sustainable Development: Concepts. GDRC | The Global Development Research Center. URL: <https://www.gdrc.org/sustdev/concepts.html>
26. Tobler W.R. Computation of the correspondence of geographical patterns [Text] / W.R. Tobler // Papers of the Regional Science Association. 1965. Vol. 15. P. 131-139. <https://doi.org/10.1007/BF01947869>
27. Tymkow P., Borkowski A. Land cover classification using airborne laser scanning data and photographs. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2008. Vol. 37. P. 185-190.
28. Urban Ecosystem Definition, Characteristics, Examples, Importance. Felsics.com. URL: <https://www.felsics.com/urban-ecosystem-definitioncharacteristics-examples-importance/>
29. Zhang Y. Linking the public with landscape preservation: public perception of a traditional urban landscape: a case study from Suzhou, China. Freiburg im Breisgau, 2017. 182 p.

Denys Serohin

PhD (Geography), Senior Lecturer, Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies, V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: den.seryogin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0169-4468>

Sergiy Kostrikov

DSc (Geography), Professor, Kostyantyn Niemets Department of Human Geography and Regional Studies, V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: sergiy.kostrikov@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4236-8474>

DELINEATION OF URBAN GEOSITUATIONAL PATTERNS AS A COMPONENT OF URBAN GEOSYSTEM ANALYSIS

The article presents one aspect of urban geosystem analysis of the urban environment, which involves identifying multi-rank patterns of urban geosituations (UGSits). The possibility of forming such patterns is determined by the property of UGSits as structural invariants of the urban geosystem (UGS). Identifying and studying UGSit patterns contributes to organizing the urban environment within the UGS model and ensures effective analysis for addressing urban problems. Such solutions can be extended to the entire geosituation pattern as applicable to it.

It is noted that these entities are formed through the systematic and structural nature of urban development, which changes depending on the historical evolution of the city and a set of factors determined by the current state of societal, economic, and technological development. As a result of these changes, modern cities with rich histories comprise various multi-rank UGSit patterns represented by different types of development.

As a typical manifestation of patterns, the article examines development across various land-use types (LUT). Based on a 3D model of New York City development in the Mapbox Studio environment, the study identifies and characterizes patterns of commercial, industrial, institutional, and residential LUTs. Each of these LUTs exhibits specific development characteristics, such as building density, planning structure, building sizes, and architecture, which distinguish them into separate patterns.

In the QGIS environment, maps of UGSit pattern distribution across Washington, D.C., were also created based on parameters such as building density, area, and height, derived from LiDAR survey data. Additionally, the article explores the dynamics of the development of a specific UGSit pattern in Tallinn through modeling and comparison of two sets of LiDAR data collected twice over a four-year interval for a specific pattern area. This allowed for identifying the volume and nature of changes in the development of this pattern during the specified period.

Keywords: urban geosystem, geosituational pattern, land use type, urban environment, urban studies, GIS, LiDAR data.

References:

1. Bardov, V., Fedorenko, V., & Biletska, E. (2013). Fundamentals of ecology: a textbook for students of higher educational institutions. Vinnytsia, 424 [in Ukrainian].
2. Bezruk, V., Kostrikov, S., & Chuiev, O. (2017). Optimizing allocation of catering institution establishments through the urbogeosystem GIS-analysis (case study of Kharkiv). *Human Geography Journal*, 21(2), 91-101. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2016-21-13> [in Ukrainian].
3. Holubets, M. (2013). Geosociosystemology. Lviv, 264 [in Ukrainian].
4. Kostrikov, S., & Chuiev, O. (2016). Analysis of two-level urban geosystems using GIS tools. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*, 44, 98-109. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2016-44-13> [in Ukrainian].
5. Kostrikov, S., Serohin, D., & Berezhnuy, V. (2021). Visibility analysis of the urbanistic environmet as a constituent of the urbogeosystems approach. *Human Geography Journal*, 30(1), 7-23. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2021-30-01> [in Ukrainian].
6. Kostrikov, S., & Serohin, D. (2024). Localized urbogeosystemic analsis through lidar data for formalized urban population estimation. *Human Geography Journal*, 36, 7-25. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2024-36-01> [in Ukrainian].
7. Kostrikov, S., Kulakov, D., & Sehida, K. (2014). GIS-software for the LiDAR-technology remote sensing in urbogeosystem analysis research purposes. *Problems of the Continuous Geographical Education and Cartography*, 19, 45-52. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pbgo_2014_19_12 [in Ukrainian].
8. Serohin, D., & Kostrikov, S. (2023). Spatial assessment of buildings energy consumption based on three-dimensional modeling of the urban environment. *Human Geography Journal*, 34, 27-41. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34> [in Ukrainian].

9. Serohin, D.S. (2021). GIS-modeling and 3D-visualization of the city buildings in the Mapbox web-GIS environment. *Region-2021: Human-Geographical aspects. Proceedings of the International Conference for young scientists and post-graduate students. Kharkiv*, 157-159 [in Ukrainian].
10. Serohin, D., & Kostrikov, S. (2022). Identification of urban geosituations in the urban environment. *Seventh Sumy Scientific Geographical Readings: collection of materials of the All-Ukrainian Scientific Conference*, 129-133 [in Ukrainian].
11. Serohin, D., & Kostrikov, S. (2023). Towards urbanistic geosituation delineation. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Series "Geology. Geography. Ecology"*, 58, 241-256. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-19> [in Ukrainian].
12. Serohin, D., & Kostrikov, S. (2022). Advantages of lidar data for tracking and assessing the destruction of urban development during military operations. *Region-2021: Human-Geographical aspects. Proceedings of the International Conference for young scientists and post-graduate students. Kharkiv*, 180-184 [in Ukrainian].
13. Topchiiev, O. (2005). Socio-geographical research: methodology, methods, techniques. Odesa, 632 [in Ukrainian].
14. Cheer, B.C. (2017). Urban morphology as a research method. *Planning Knowledge and Research: New York, NY, USA*. 167-181. <http://dx.doi.org/10.4324/9781315308715-11>
15. Christaller, W. (1967). Central Places in Southern Germany. Translated by C.W. Baskin. NY, 230
16. Download Elevation Data. Avaleht Geoporaal Maaamet. Retrieved from <https://geoporaal.maaamet.ee/eng/Maps-and-Data/Elevation-data/DownloadElevation-Data-p664.html>
17. Introduction – Google Earth User Guide. Google Earth. Retrieved from <https://earth.google.com/intl/ar/userguide/v4/index.htm>
18. Kostrikov, S., Niemets, L., Robinson, D. et al. (2024). Delineation of the Hostilities' Impact on Urban Environment by LiDAR Data Processing (a Case Study of Kharkiv). In: Morar, C., Berman, L., Erdal, S., Niemets, L. (eds). *Achieving Sustainability in Ukraine through Military Brownfields Redevelopment. NATOARW 2023. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security*. Springer, Dordrecht. 265-278. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2278-8_22
19. LiDAR Data for Washington DC is Available as an AWS Public Dataset. Amazon Web Services. Retrieved from <https://aws.amazon.com/ru/blogs/publicsector/lidardata-for-washington-dc-is-available-as-an-aws-public-dataset/>
20. Mapbox Studio manual. Mapbox. Retrieved from <https://docs.mapbox.com/studiomanual/guides/>
21. Meeteren, M. (2019). Urban System. *The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies* / Edited by A.M. Orum. John Wiley & Sons, 1-11. <https://doi.org/10.1002/9781118568446.eurs0400>
22. Mollashahi, H., & Szymura, M. (2021). Urban Ecosystem: An Interaction of Biological and Physical Components. *Biodiversity of Ecosystems* / Edited by L. Hufnagel. INTECH Open, 1-14. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97742>
23. Moser, G., Pol, E., Bernard, M. et al. (2013). *People, places, and Sustainability*. Gottingen, 340.
24. Pickett, S.T.A. Urban ecosystem. Human Impact, Biodiversity & Pollution. *Encyclopedia Britannica*. Retrieved from <https://www.britannica.com/science/urbanecosystem>
25. Srinivas, H. Sustainable Development: Concepts. GDRC. The Global Development Research Center. Retrieved from <https://www.gdrc.org/sustdev/concepts.html>
26. Tobler, W.R. (1965). Computation of the correspondence of geographical patterns. *Papers of the Regional Science Association*, 15, 131-139. <https://doi.org/10.1007/BF01947869>
27. Tymkow, P., & Borkowski, A. (2008). Land cover classification using airborne laser scanning data and photographs. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 37, 185-190.
28. Urban Ecosystem Definition, Characteristics, Examples, Importance. Felsics.com. Retrieved from <https://www.felsics.com/urban-ecosystem-definitioncharacteristics-examples-importance/>
29. Zhang Y. (2017). Linking the public with landscape preservation: public perception of a traditional urban landscape: a case study from Suzhou, China. *Freiburg im Breisgau*, 182 p.

Received 04 November 2024

Accepted 16 December 2024