

Наукові повідомлення

<https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-02>
УДК 911.3.477

Надійшла 15 квітня 2023 р.
Прийнята 18 травня 2023 р.

Катерина Сегіда

*д-р геогр. н., проф. кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: kateryna.sehida@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>*

Сергій Чехов

*аспірант кафедри соціально-економічної географії і регіонознавства,
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна,
e-mail: serhii.chekhov@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0003-4940-3214>*

ПРОСТОРОВИЙ АНАЛІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ НАСЕЛЕННЯ МІСТА ХАРКОВА ЗАХИСНИМИ СПОРУДАМИ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

У статті був проаналізований територіальний аспект розподілу та ємнісних характеристик захисних споруд цивільного захисту м. Харкова із співставленням його з чисельністю наявного населення. На першому етапі була розрахована щільність населення у визначених ділянках в межах максимально допустимого радіусу доступності найближчого наявного укриття. Для цих же ділянок були розглянуті просторові особливості місця розташування (рівня скупченості) й місткості захисних споруд. Наостанок кількість наявного населення була співвіднесена із місткістю споруд цивільного захисту із проведенням просторової кластеризації визначених ділянок відповідно до згаданого атрибуту.

Для визначення щільності населення на визначених ділянках та заповнення прогалин у первинних даних був застосований геостатистичний метод площинної інтерполяції, використання якого вимагало виконання наступних послідовних процедур: трансформація первинних даних відповідно до нормального розподілу, побудова моделі напівваріограми перетворених показників, агрегування моделі в поверхню та цільові полігони. Під час розрахунку територіального забезпечення м. Харкова захисними укриттями усіх типів були використані: шар точкових об'єктів з інтерактивної карти відкритих даних харківського геопорталу (для визначення місць розташувань і типів захисних споруд) й інформація з сайту некомерційного підприємства Харківської обласної ради «Центру екстреної медичної допомоги та медицини катастроф» (для актуалізації інформації щодо місткості сховищ та протирадіаційних укриттів). Для оцінки міри просторової автокореляції показника забезпеченості харків'ян місткістю споруд цивільного захисту на визначених парцелах був використаний Глобальний індекс Морана, котрий показав високу ступінь кластеризації ділянок за цим параметром. На підставі достатнього позитивного значення просторової автокореляції заданого атрибуту за рахунок використання Локального індексу Морана була проведена класифікація парцел із виділенням п'яти класів об'єктів: кластер високих значень (НН), кластер низьких значень (ЛЛ), викид у якому високе значення оточено низькими (НЛ), викид у якому низьке значення оточено високими (ЛН) та ділянки без ознак кластерів (викидів).

Науковою новизною статті, у порівнянні із аналогічними за спорідненою тематикою, є використання та трансформація гексагонального шару розподілу щільності населення м. Харкова відповідно до вимог дослідження. У висновках, на підставі результатів кластерного аналізу й через адаптацію тектологічного закону найменших (слабкої ланки) під реалії сьогодення була запропонована комплексна послідовна стратегія усунення недоліків територіального забезпечення населення м. Харкова захисними спорудами цивільного захисту.

Ключові слова: *кластерний аналіз, напівваріограма, площинна інтерполяція, просторова автокореляція, споруди цивільного захисту, щільність населення.*

Як цитувати: Сегіда, К., Чехов, С. (2023). Просторовий аналіз забезпеченості населення міста Харкова захисними спорудами цивільного захисту. *Часопис соціально-економічної географії*, 34, 14-26. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-02>

In cites: Sehida, K., Chekhov, S. (2023). Spatial analysis of provision the population of Kharkiv with civil defense facilities. *Human Geography Journal*, 34, 14-26 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.26565/2076-1333-2023-34-02>

Постановка проблеми. Вже другий рік як територія України потерпає від військової агресії та чи не щоденно внаслідок ракетних обстрілів і бомбардувань відбувається руйнування її інфраструктури, гинуть військові на передовій та цивільні мешканці в тилу країни. Значний економічний ресурс спрямову-

ється на підтримку військово-промислового комплексу та ЗСУ, при цьому поза увагою досить часто лишається проблема забезпеченості населення спорудами цивільного захисту. Особливо гостро ця kwestія стоїть для міста Харкова, яке із незавидною періодичністю страждає від повітряних ударів.

Комплексне дослідження територіального розподілу (наявність укриттів у радіусі 500 метрів), кількісних (співвідношення кількості людей із місткістю наявних у визначеному радіусі доступності захисних споруд) та якісних (відповідність цих споруд Державним будівельним нормам) характеристик є злободенним питанням для більшості харків'ян, від чого подекуди може залежати чиєсь життя. Саме ці обставини зумовили нас сфокусувати увагу на дослідженні питання забезпеченості населення міста Харкова захисними спорудами цивільного захисту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більша частина останніх досліджень територіальної організації систем споруд цивільного захисту стосувалася населених пунктів, котрі розташовані у сейсмічно небезпечних районах Китаю, Туреччини та Індонезії й мали на меті конкретне прикладне застосування. Зустрічаються й поодинокі праці європейських авторів, стосовно територій у межах кількох кварталів, що носять скоріше суто теоретичний характер, аніж перелік конкретних пропозицій по вдосконаленню наявної мережі захисних споруд. Детальний опис всіх проаналізованих нами робіт представлений нижче.

Порівняльний кореляційний аналіз географічної (використання гравітаційної моделі) і геометричної (методи просторового синтаксису) доступності захисних укриттів району Учан м. Ухань (Китай) був детально описаний у дослідженні [10]. Для впровадження вищезгаданих методів район дослідження був поділений на сітку рівних квадратів (1 км²), на якій були застосовані інструменти ArcGIS Near, Network Analysis OD Cost Matrix та додатковий плагін – Axwoman (просторовий синтаксис). Також, на прикладі того самого району м. Ухань було проведено й інше дослідження, де показані переваги застосування мультиплікативно зваженої діаграми Вороного (з урахуванням факторів безпечного місцерозташування, кутів нахилу схилу, щільності та ширини шляхів сполучення, типу укриття та його ємності) над звичайною діаграмою Вороного (враховує лише мінімальну відстань від сховищ до точок попиту) [11].

Окремої уваги заслуговує дослідження пішої доступності укриттів у сейсмічно небезпечному м. Адан (Туреччина), де на додачу до згадуваних більшістю дослідників факторів впливу додається параметр імпедансу. Складовими мережевого аналізу ArcGIS в даному випадку виступали: центри – початковий і кінцевий пункт призначення, дуги – пішохідні маршрути, вузли – перехрестя доріг та імпеданси – бар'єри (підземні та надземні переходи), що збільшують довжини дуг маршруту та зменшують рівень доступності укриттів [22].

Застосування глобального індексу Морана знайшло своє відображення у праці [20] де для м. Сун'юань (Китай), що останні п'ять років страждає від землетрусів, були виявлені кластери співвідношення щільності населення в окремих квадратах із місткістю укриттів. У наведеній статті [19] об'єктом дослідження виступала центральна частина м. Ланьчжоу провінції Ганьсу (Китай) й була

застосована вдосконалена гравітаційна модель доступності укриттів, що враховувала граничну відстань до об'єктів (500 м, 1000 м або 2000 м), щільність населення району, а також загальну чисельність та ємність захисних споруд в радіусі доступності.

На прикладі округу Цзяньчуань (Китай) інструментами ArcGIS була проаналізована існуюча система укриттів, при цьому враховувалась кількість точок попиту житлових будинків, географічної радіус доступності сховищ та граничний показник перевищення дефіциту їх ємності, що становив 20 %. Були визначені територіальні диспропорції наявних споруд цивільного захисту, їх незадовільний рівень ємності й на підставі виявлених недоліків була представлена модель вдосконаленої системи існуючих укриттів вищезгаданого округу [18].

Засобами програмного забезпечення Matlab, на прикладі кількох кварталів м. Брно (Чехія), був побудований граф, в якому вузли представляють собою реальну систему перехресть і будинків, а ребра – існуючу систему доріг. За допомогою цього графу були визначені найбільш оптимальні місця евакуації людей автобусами у випадку недостатньої ємності найближчих укриттів даних кварталів [15].

У роботі [16] авторами був застосований модифікований метод оцінки просторової доступності споруд цивільного захисту населення Ga2SFCA на прикладі одного з районів м. Куньмін (Китай). Удосконалений метод розраховує радіус доступності на основі щільності населення та місткості укриттів і є більш науковим та реалістичним порівняно з фіксованим радіусом пошуку традиційного методу Ga2SFCA. Побудована на його підставі модель розподілу укриттів м. Куньмін враховує не тільки показники щільності населення та ємності найближчих укриттів, але також й природні (кути нахилу місцевості) та соціальні фактори (трафік). Застосування засобів просторового аналізу ArcGIS для побудови оптимальної мережі укриттів населення м. Сюйчжоу (Китай) було представлено у дослідженні [23].

Оцінка просторової доступності споруд цивільного захисту м. Тяньцзінь (Китай), на підставі моделювання процесу евакуації населення, була описана у статті [8], де при розрахунках показника щільності населення припускалася пряма кореляція кількості населення у окремому окрузі із площею та поверховістю будівель, які на ньому розташовані (без урахування їх функціонального призначення). На прикладі того ж м. Тяньцзінь, для підрахунку показників просторової доступності системи укриттів, були використані методи A-2SFCA та FC2SFCA завдяки чому були виявлені прогалини у забезпеченні населення міста захисними спорудами [9].

У дослідженні [17] було продемонстровано, як на підставі інформації стосовно функціонального призначення полігональних об'єктів з відкритого проєкту геопросторових даних «OpenStreetMap» та даних статистичного управління м. Дєпок (Індонезія) можна спочатку розрахувати кількість людей, що проживають в окремих будинках, а потім візуально

відобразити щільність населення вищезгаданого міста у вигляді сітки рівних квадратів, кожен з яких має свій, унікальний показник. Суттєвим недоліком в даному випадку виступає упущення в розрахунках поверховості цих будинків.

Виділення невіршених раніше частин. Як ми побачили зі статей [8, 17] одним із способів отримання статистичної інформації по детальній щільності міського населення (за умови відсутності даних державних статистичних служб) є агрегація даних стосовно площі, функціонального призначення та поверховості міської забудови з відкритих джерел (OSM) та подальший розрахунок кількості населення на визначених невеликих ділянках на підставі зіставлення отриманої інформації з порайонною щільністю населених пунктів. Для отримання достовірних результатів обов'язковою умовою є врахування, як поверховості, так і функціонального призначення наявних будівель.

Для м. Харкова врахування деталізованої щільності населення за даними з OSM є неможливим, оскільки наявною є лише інформація щодо функціонального призначення будинків без вказання їх поверховості. В додаток до цього, Головне управління статистики у Харківській області не надає актуальної та достовірної порайонної інформації чисельності населення м. Харкова. До того ж, значна частина мешканців міста вимушено мігрувала у безпечніші регіони країни, чи закордон не змінюючи при цьому свого офіційного місця проживання, що призводить до спотворення офіційної інформації статистичної служби.

Відкритим питанням є також невизначеність ємності більшості споруд цивільного захисту м. Харкова, з чим не стикалися дослідники даної тематики в інших містах, тому розрахунок їх граничної вмістимості та територіального рівня забезпеченості населення носить умовний характер.

Метою статті є визначення рівня територіальної забезпеченості захисними спорудами цивільного захисту населення міста Харкова. Для досягнення поставленої мети необхідним є виконання наступних **завдань**: розподіл території міста на рівні ділянки відповідно до нормованого, максимального дозволеного радіусу наявності найближчого укриття; визначення кількості населення, що перебуває на виокремлених парцелях міста в конкретний момент часу; підрахунок демографічного навантаження на цих парцелях у вигляді співвідношення кількості містян до граничної ємності споруд цивільного захисту у радіусі їх доступності; на підставі показника демографічного навантаження на захисні споруди міста, проведення групування визначених парцел із виявленням найбільш незабезпечених ділянок міста.

Результати дослідження. Для отримання актуальної і деталізованої інформації по щільності населення м. Харкова нами був використаний набір даних з [4] представлений правильними шестикутниками (гексагонами) зі сторонами по 0,5 км та площаю – 0,67 км². Кожен гексагон має свій унікальний показник чисельності наявного населення з точністю до однієї людини. Розрахунки чисельності населення в гексагонах засновані на Глобальному шарі насе-

лених пунктів (GHSL). Дані GHSL накладаються на інформацію про населення Facebook (HRSL), якщо вона є доступною. Крім цього, для підвищення точності розподілу наявного населення використовуються: Microsoft Building Footprint, Land Information New Zealand та Copernicus Global Land Service [4].

Використаний нами набір даних, датований 30 червня 2022 року, ще не втратив своєї актуальності, адже був отриманий після початку військового вторгнення, яке триває дотепер. Ці дані, разом із областю дослідження, були представлені на (рис. 1). І якщо для численних зарубіжних публікацій обґрунтування необхідності дослідження базувалося на розташуванні об'єктів вивчення в межах сейсмоактивних зон [9, 16, 18, 20, 22, 23], то для м. Харкова таким приводом стала військова агресія з боку Росії та близькість, як до її державного кордону, так і до зони ведення активних бойових дій.

Наявність прогалів в даних (сірі зони) та невідповідність розмірів гексагонів максимально допустимому радіусу збору населення, що підлягає укриттю (до 500 м) [1], обумовили необхідність використання засобів ArcGIS для інтерполяції відсутніх показників та розподілу території міста відповідно до визначених стандартів України у сфері цивільного захисту.

Оскільки первинні дані представлені у вигляді гексагонів можливим є використання лише геостатистичного методу площинної інтерполяції, в основі якого лежить теорія кригінгу, що застосовується щодо даних, усереднених або агрегованих по полігонам. Для всіх точок, що лежать усередині цих полігонів і між ними, можуть бути обчислені значення інтерполяції та їх середньоквадратичні помилки, а потім ці значення (разом з помилками) можуть бути повторно агреговані в новий набір полігонів [23] (необхідного нам розміру, відповідно до допустимого радіусу збору населення). Процес повторного агрегування даних складається з двох етапів: спочатку на основі гексагонів з початковими показниками чисельності населення створюється поверхня значень інтерполяції, потім ця поверхня інтерполяції піддається повторному агрегуванню в цільові полігони. Створення такої поверхні потребує застосування методів варіографії [23].

Як і всі методи кригінгу, площинна інтерполяція має кілька обмежень, які перешкоджають побудові коректної моделі даних. Перше обмеження – велика різниця у розмірах полігонів. Оскільки всі наші гексагони мають однаковий розмір, то це обмеження нас не лімітує. Друге обмеження – нестационарність даних. Для площинної інтерполяції це є проблемою, оскільки, за умови стаціонарності, щільність населення повинна змінюватися на місцевості рівномірно – не повинно бути гексагонів з вкрай високою щільністю населення поряд із гексагонами низької щільності [23].

Розподіл первинних даних щільності населення не відповідає умовам стаціонарності (діапазон набору даних коливається у межах від 1 до 7500 осіб на одну ділянку), тому він був трансформований методом біквдратного кореня [21], в результаті чого ми

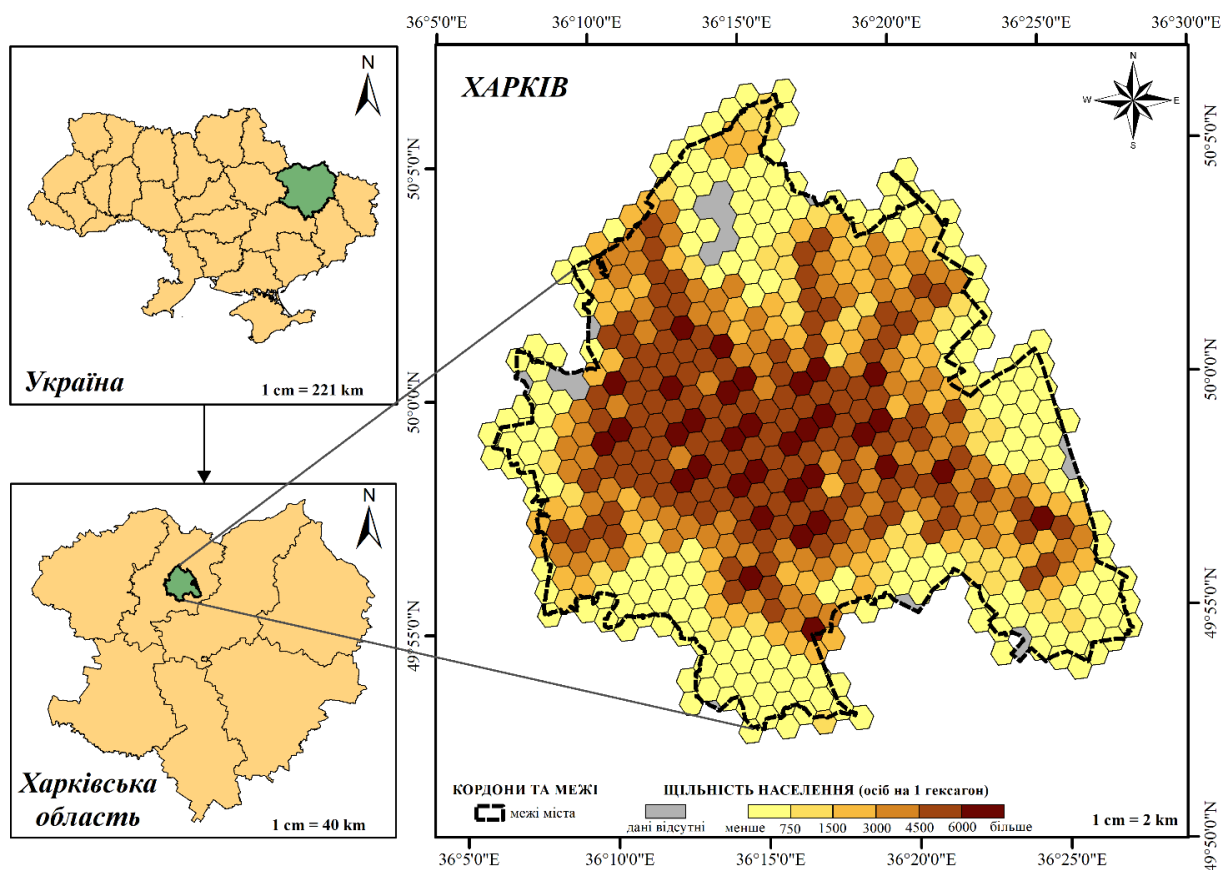


Рис. 1. Область дослідження та первинні дані розподілу населення (побудовано за [4])
Fig. 1. Study area and initial data on population distribution (based on [4])

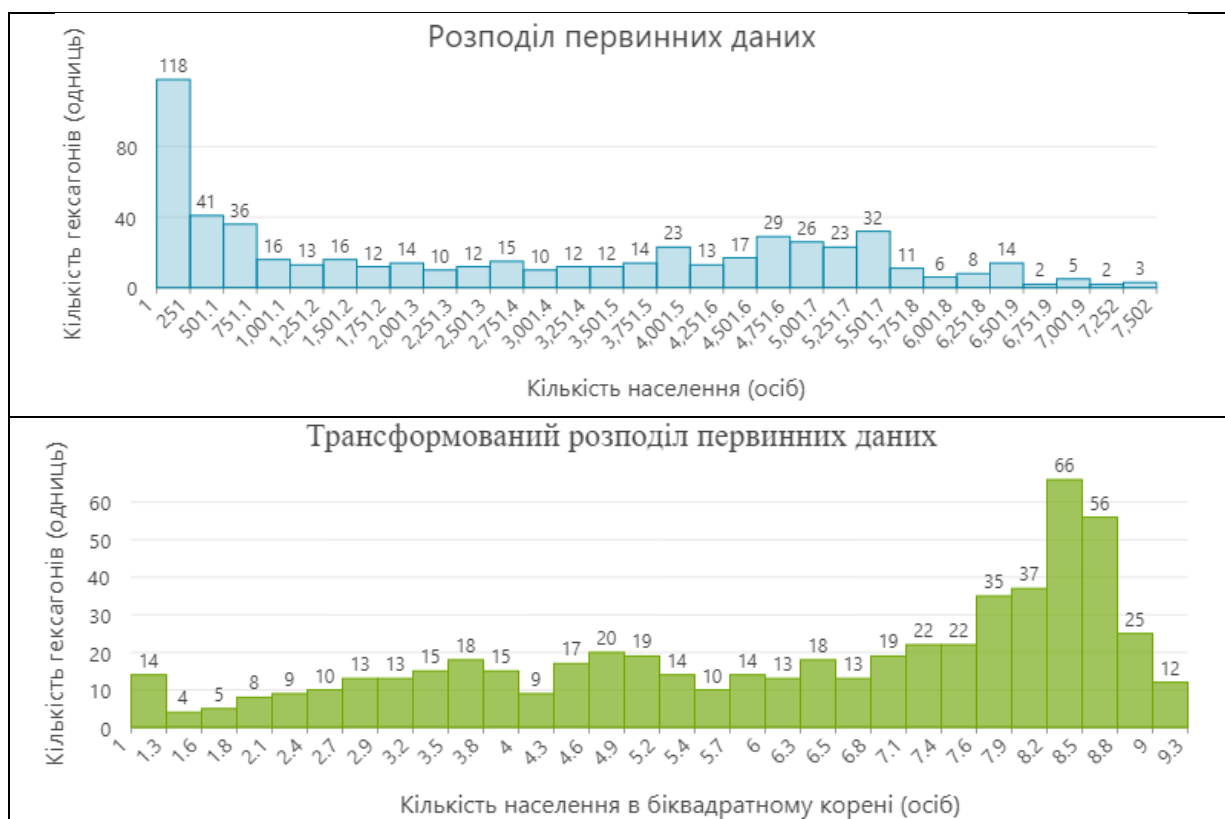


Рис. 2. Гістограми первинних та перетворених показників (побудовано за [4])
Fig. 2. Histograms of the primary and transformed values (based on [4])

отримали допустимі значення діапазону набору даних, що є наближеними до нормального розподілу (рис. 2).

На наступному етапі трансформовані площинні показники чисельності населення були використанні нами для побудови коректної моделі напівваріограми. Критерієм правильно підбраної моделі напівваріограми є потрапляння більшості емпіричних варіацій (сині хрестики) у довірчі інтервали (червоні вертикальні лінії), при чому крива напівваріограми (синя лінія на графіку) не обов'язково має потрапляти у довірчі інтервали [23]. Найбільш релевантними для нашого випадку виявилися наступні параметри напівваріограми (рис. 3):

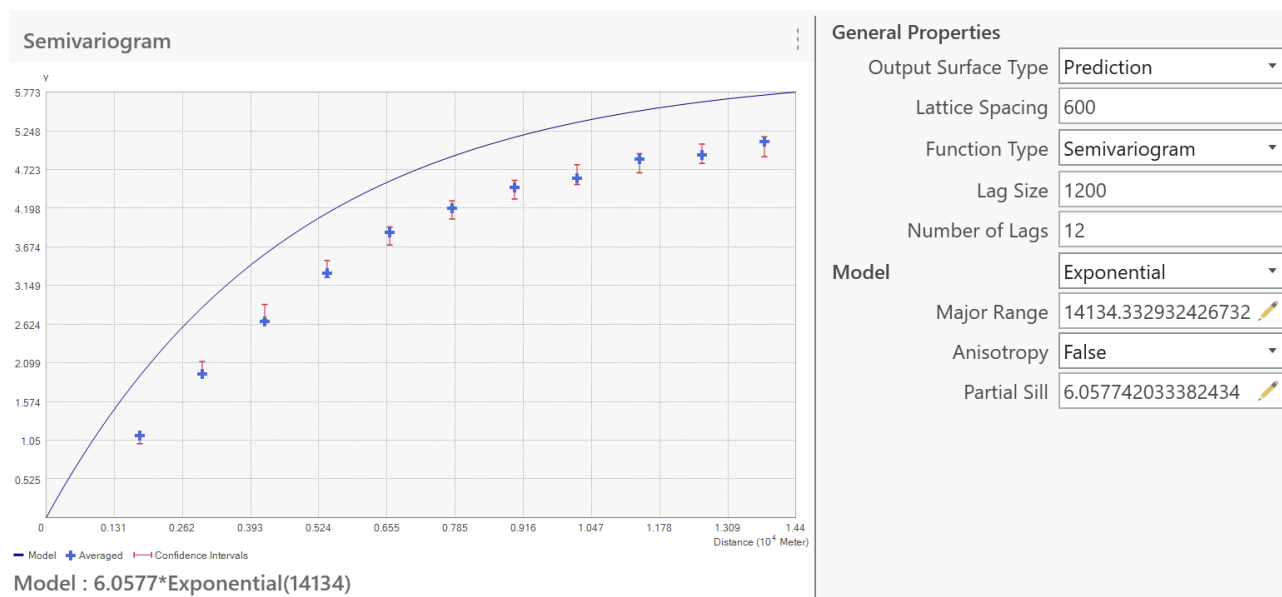


Рис. 3. Модель напівваріограми перетворених показників (побудовано за [4])
Fig. 3. The model of the semivariogram of the transformed indicators (based on [4])

Всі емпіричні варіації на рис. 3 знаходяться у межах довірчих інтервалів, що вказує на вірно підбрану модель, яка добре відповідає даним і одержаним результатам можна довіряти. Отриману модель напівваріограми ми використали для інтерполяції в поверхню та агрегували її у сітку квадратів (fishnet) відповідно до [1] таким чином, щоб радіус вписаних в ці квадрати кіл був в межах максимально прийнятного радіусу збору населення (сторони наших квадратів дорівнюють 830 м, радіуси вписаних кіл – 415 м). Загальна кількість отриманих ділянок – 582 одиниці, з них цілих квадратів – 413. Загальна чисельність населення міста після інтерполяції в цільові полігони становить 1 477 594 особи (загальна чисельність населення первинних даних – 1 475 837 осіб). Результати агрегування відображені нижче (рис. 4).

Перехресна перевірка шляхом видалення однієї парцели з набору даних і використання даних, що лишилися, для прогнозування кількості осіб у тій, котра була видалена, виявила відповідність розподілу інтерпольованих показників трендам опорної лінії та лінії регресії. Агрегування інтерпольованої поверхні в гексагони первинних даних показало то-

жність відомих показників чисельності населення [4] предиктивним. Значення середньоквадратичної нормованої помилки є близьким до 1, при цьому показник середньоквадратичної помилки прогнозу є меншим від нормованого, тож результати інтерполяції в цільові полігони є достовірними. Окремо слід зазначити, що інтерполяція за [4] краще відповідає меті та завданням дослідження, оскільки на відміну від даних перепису населення державної статистичної служби, спирається не на записи, щодо офіційно зареєстрованого місця проживання, а на показники платформи аналізу зображень GHSL (з застосуванням набору датчиків, включаючи радарні та оптичні [4]). Таким чином ми отримали не «нічний» розподіл населення м. Харкова (за місцем реєстрації особи), а реальну картину територіальної розосередженості містан протягом дня.

Згідно із п. 1, 2 ст. 32 актуальної редакції Кодексу цивільного захисту України [2] до захисних споруд цивільного захисту належать: 1) сховища; 2) протирадіаційні укриття; 3) споруди подвійного призначення; 4) швидкоспоруджувані захисні споруди цивільного захисту та 5) найпростіші укриття (цокольні або підвальні приміщення). За інформаці-

сю [6,7] на території м. Харкова розташовано 2104 одиниці захисних споруд цивільного захисту, з них:

1) сховищ – 146 (сумарна місткість – 61158 осіб);

2) протирадіаційних укриттів – 17 (сумарна місткість – 3014 осіб);

3) споруд подвійного призначення – 202 (передбачувана розрахункова сумарна місткість – 238764 особи);

4) найпростіших укриттів – 1739 (передбачувана розрахункова сумарна місткість – 685166 осіб).

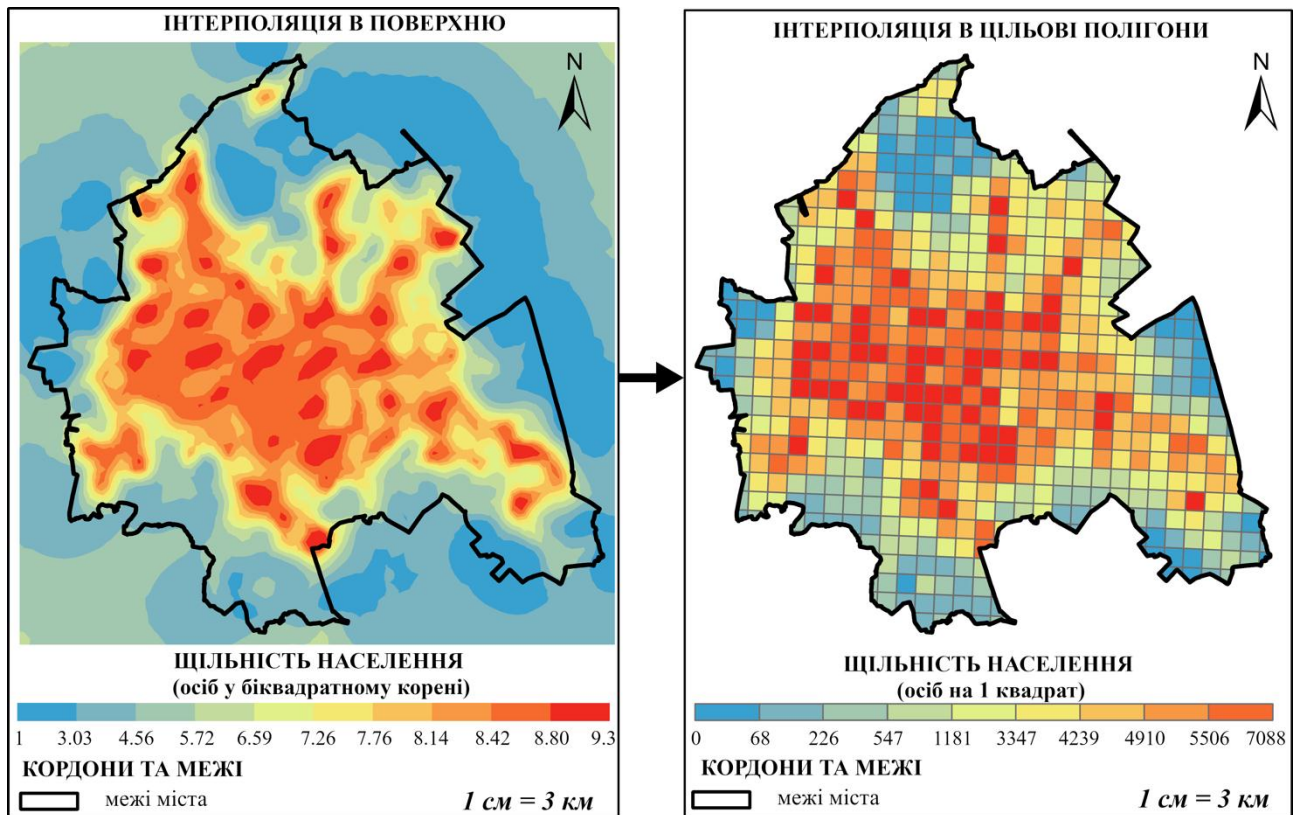


Рис. 4. Агрегування моделі напівваріограми в поверхню та цільові полігони
Fig. 4. Aggregation of the semivariogram model into surface and target polygons

Як ми можемо побачити, сумарна місткість споруд цивільного захисту м. Харкова (988102 особи) не відповідає кількості наявних мешканців. Точкове розміщення та місткість цих споруд на визначених ділянках радіусу доступності представлені на рис. 5.

Варто зауважити, що 2104 одиниці споруд цивільного захисту представлені 2042 точковими об'єктами. Це пов'язано із розташуванням двох і більше сховищ або протирадіаційних укриттів на території великих промислових підприємств міста, що представлені одним точковим об'єктом на картограмі зліва (рис. 5). Промисловими підприємствами із найбільшою місткістю захисних споруд цивільного захисту населення на території м. Харкова є:

1. Приватне акціонерне товариство «Харківський тракторний завод» – 13 сховищ та 7 протирадіаційних укриттів (загальна місткість 14016 осіб);
2. Державне підприємство «Завод імені В.О. Малишева» – 13 сховищ (загальна місткість 5124 особи);
3. Акціонерне товариство «Українські енергетичні машини» – 3 сховища (загальна місткість 4018 осіб);
4. Державне підприємство «Завод Електроважмаш» – 5 сховищ та 4 протирадіаційні укриття (загальна місткість 3525 осіб);

5. Державне науково-виробниче підприємство «Об'єднання Коунар» – 4 сховища (загальна місткість 2990 осіб);
6. Державне підприємство «Завод Радіореле» – 1 сховище (місткість 2200 осіб);
7. Публічне акціонерне товариство «АВТРАМАТ» – 1 сховище (місткість 1200 осіб);
8. Товариство з обмеженою відповідальністю «ЕЛ-ТІЗ» – 1 сховище (місткість 1200 осіб);
9. Приватне акціонерне товариство «Харківський підшипниковий завод» – 2 сховища та 4 протирадіаційні укриття (загальна місткість 1070 осіб);
10. Державне підприємство «Харківський машинобудівний завод ФЕД» – 6 сховищ (загальна місткість 1000 осіб) [6].

Середня ємність всіх сховищ та протирадіаційних укриттів м. Харкова становить 394 особи [6]. Оскільки офіційна інформація стосовно місткості споруд подвійного призначення та найпростіших укриттів відсутня, для підрахунку умовного рівня забезпеченості містян захисними спорудами цивільного захисту, ємність однієї одиниці найпростіших укриттів (цокольні або підвальні приміщення) ми визначили як середній показник ємності відомих сховищ та протирадіаційних укриттів, а ємність однієї одиниці споруд подвійного призначення (станції

метро та підземні переходи) – як три вищезгадані середні показники. Відсутність показників ємності згаданих типів захисних споруд свідчить про необхідність проведення їх комплексної інвентаризації із

визначенням їхньої відповідності державним будівельним нормам, рівня доступності та відповідно граничної місткості.

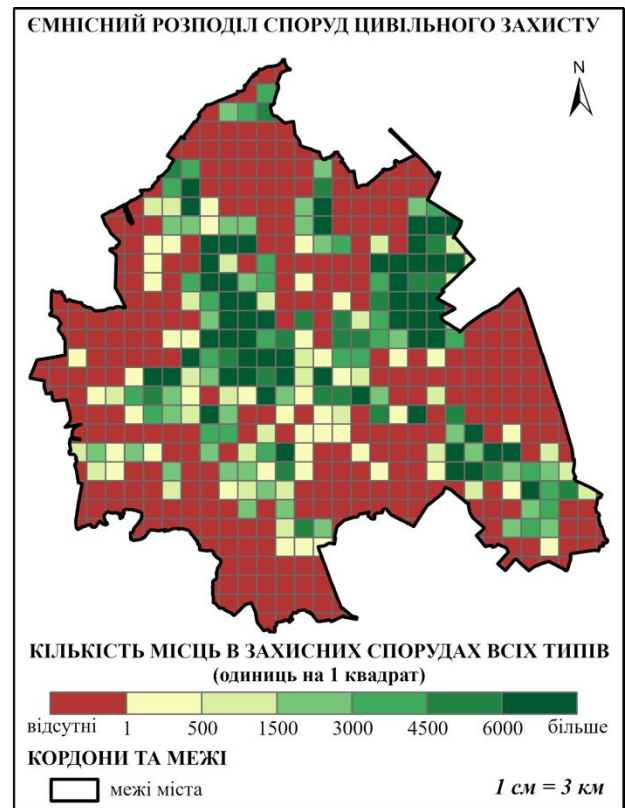
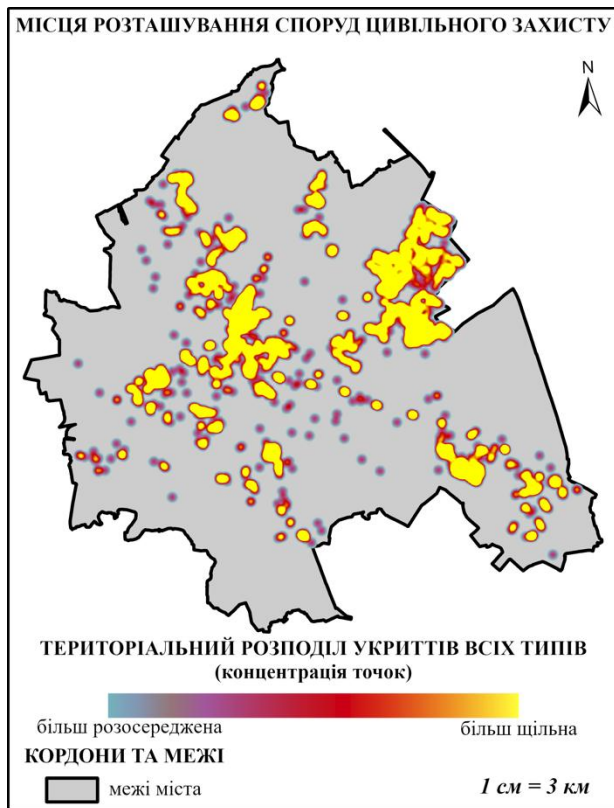


Рис. 5. Рівень скученості та місткості захисних споруд м. Харкова (побудовано за [6,7])
 Fig. 5. Level of overcrowding and capacity of the protective structures in Kharkiv (based on [6,7])

Виходячи із правої картосхеми на рис. 5 (навіть без співставлення із наявною чисельністю населення) можна побачити значні прогалини у територіальному розподілі місткості захисних укриттів м. Харкова, так 360 з визначених нами 582 ділянок взагалі не забезпечені жодним із наявних типів захисних споруд цивільного захисту. Найбільш територіально благополучними у цьому плані є Салтівський район (переважно за рахунок найпростіших укриттів) та центральна частина м. Харкова.

На наступному етапі, при визначенні територіальних особливостей забезпеченості населення м. Харкова спорудами цивільного захисту нами був використаний інструмент, що вимірює просторову автокореляцію (Глобальний індекс Морана), засновану одночасно на розташуванні визначених нами 582 парцел та їхніх значеннях щодо наявності (надлишку або нестачі) місць в укриттях цивільного захисту всіх типів у порівнянні із дійсною кількістю містян на цих ділянках. Виходячи із запропонованого набору об'єктів і з урахуванням вже згаданих нами атрибутів, інструмент просторової автокореляції оцінив ступінь їх кластеризації [14]. Просторові відношення між ділянками були визначені по спільним ребрам та кутам (полігони, що мають спільне ребро або кут, включають у розрахунок для цільового полігона). Параметр стандартизації рядів не був врахований в підрахунках.

Глобальний індекс просторової автокореляції був розрахований за формулами, що представлені нижче [14]:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i z_j}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (2)$$

де z_i – відхилення атрибута для об'єкта i від його середнього значення,

$(x_i - \bar{X})$, $w_{i,j}$ – просторова вага між об'єктами i та j ,
 n – загальна кількість об'єктів,

S_0 – сукупність всіх просторових ваг:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \quad (3)$$

z_i – оцінка для статистики вираховується як:

$$z_i = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \quad (4)$$

де:

$$E[I] = -1/(n - 1) \quad (5)$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2 \quad (6)$$

В результаті ми отримали наступне значення Глобального індексу Морана за обраним атрибутом та ділянками: $I = 0,390$; при цьому $E[I] = -0,001$; z -оцінка = 18,237; p -значення (вірогідність) = 0,000.

Отримані статистичні значення просторової автокореляції в подальшому будуть трактовані нами в контексті нульової гіпотези. Для показника Глобального Індексу Морана нульова гіпотеза стверджує, що аналізований параметр забезпеченості населення м. Харкова захисним укриттями розподілений між ді-

лянками випадково чи, інакше кажучи, просторові процеси, які утворили спостережувану структуру значень носять випадковий характер [14]. Для того щоб спростувати нульову гіпотезу ми маємо проаналізувати одержані показники *p*-значення (*вірогідності*) та *z*-оцінку стандартного відхилення.

Оскільки: *p*-значення < 0,01 та є значущим, а *z*-оцінка > 2,5 та значно перевищує межі допустимого стандартного відхилення, це дає нам підставу стверджувати про дуже малу ймовірність того, що просторові закономірності розподілу параметру забезпе-

ності населення м. Харкова спорудами цивільного захисту є результатом випадкових процесів, таким чином, можна відкинути нульову гіпотезу. Візуальне відображення поєднання дуже низьких показників *p*-значення і разом з цим дуже високих позитивних значень *z*-оцінки представлено нижче (рис. 6). Одержані показники є значущими, знаходяться у правому хвості розподілу та вказують на просторову класифікацію (Clustered) ділянок стосовно аналізованого нами параметру.

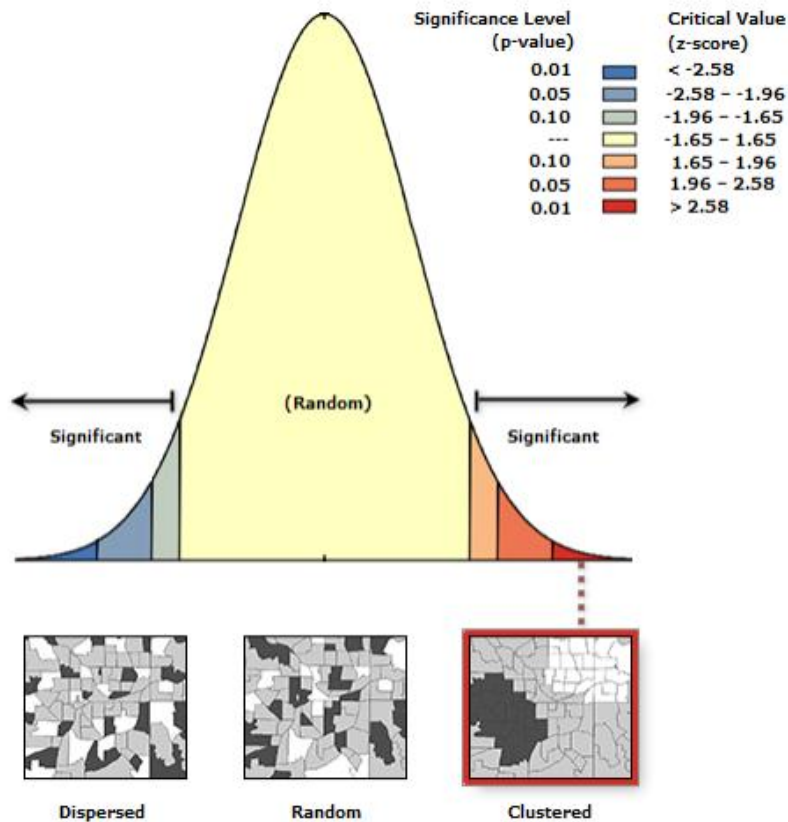


Рис. 6. Виявлення просторової автокореляції забезпеченості населення м. Харкова захисними спорудами цивільного захисту (на основі Глобального індексу Морана)

Fig. 6. Detection of spatial autocorrelation of the provision of Kharkiv city population with civil defense facilities (based on the Global Moran's Index)

Для атрибуту забезпеченості харків'ян захисними укриттями ми маємо фактичне значення глобального індексу Морана $I = 0,390$, при цьому для випадкового розподілу очікується значення глобального індексу Морана $E[I] = -0,001$. Імовірність помилки першого роду (*p*-значення), тобто того, що знайдемо закономірність, якої не існує, $\epsilon < 0,01$. Так як, фактичне та очікуване значення індексу Морана статистично значно різняться, а саме $I > E[I]$, ми маємо позитивну просторову автокореляцію досліджуваного атрибуту, тобто в цілому значення параметрів спостереження в сусідніх парцелах міста є подібними. Тож територіальна забезпеченість населення м. Харкова спорудами цивільного захисту у межах визначених ділянок, має кластерний просторовий характер розподілу.

На заключному етапі дослідження, для статистичної оцінки просторових зв'язків між ділянками

стосовно рівня забезпеченості населення м. Харкова укриттями, нами був використаний Локальний індекс Морана, математичний вираз якого представлений далі [12]:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{X}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} (x_j - \bar{X}) \quad (7)$$

де x_i – числовий атрибут об'єкта i , \bar{X} – середнє значення для цього атрибуту, w_{ij} – просторова вага для пари i та j , при цьому:

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{X})^2}{n-1} \quad (8)$$

де n відповідає загальній чисельності об'єктів.

Оцінка Z_{I_i} вираховується наступним чином:

$$Z_{I_i} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (9)$$

де

$$E[I_i] = - \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} \quad (10)$$

$$V[I_i] = E[I_i^2] - E[I_i]^2 \quad (11)$$

У результаті ми отримали п'ять класів досліджуваних парцел за вже згаданим атрибутом, деталі-

зовані статистичні показники котрих представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика класів територіальної забезпеченості захисними спорудами цивільного захисту населення міста Харкова
Description of the classes for the territorial provision of civil defense facilities for the population of Kharkiv

Назва класу	Кількість ділянок (одиниць)	Чисельність населення (осіб)	Кількість укриттів всіх типів (точок)	Місткість укриттів всіх типів (одиниць)	Наявність місць в укриттях всіх типів (одиниць)
Кластер високих значень (НН)	99	437836	93	38795	<i>Нестача:</i> 399041
Кластер низьких значень (LL)	44	140838	921	411920	<i>Надлишок:</i> 271082
Викид, у якому високе значення оточено низькими (НЛ)	8	33833	35	13790	<i>Нестача:</i> 20043
Викид, у якому низьке значення оточено високими (ЛН)	11	51812	113	67874	<i>Надлишок:</i> 16062
Ділянки, на яких не виявлено ознак кластеру (викиду)	420	813275	880	455723	<i>Нестача:</i> 357552
Всього	582	1477594	2042	988102	<i>Нестача:</i> 489492

* Розраховано авторами за даними [4,6,7]

Ділянки, що входять до кластеру високих значень (НН) мають найбільшу абсолютну нестачу місткості споруд цивільного захисту. Оскільки утворюючі його парцели мають високі показники нестачі місткості та разом з цим вони оточені ділянками з відносно високими показниками згаданого атрибуту (позитивна автокореляція) – саме цей кластер є першочерговою ціллю під час модернізації та спорудження нових об'єктів цивільного захисту м. Харкова.

Кластер низьких значень (LL) складається з ділянок, які мають відносно низькі власні значення аналізованого показника (надлишок місткості) та оточені квадратами також з відносно низькими значеннями досліджуваного атрибуту місткості (позитивна автокореляція). З точки зору захищеності містян, саме цей кластер є найбезпечнішим на території м. Харкова й не потребує залучення коштів та ресурсів для будівництва нових споруд цивільного захисту.

Територіальні особливості розподілу описаних нами кластерів представлені на рис. 7.

Просторовий викид, у якому високе значення нестачі місткості захисних споруд оточено низькими показниками (НЛ) є відносно безпечним, адже через негативну автокореляцію нестача місткості цільового викиду може бути нівельована за рахунок оточуючих його ділянок із атрибутами надлишку місткості, проте із збільшенням максимального радіусу доступності.

Ділянки, що віднесені до класу просторового викиду, у якому низьке значення атрибуту (надлишок місткості) оточено високими значеннями показників (ЛН) є «оазисами безпеки», оскільки мають

спільні ребра чи кути із парцелями кластеру високого дефіциту місткості (НН). Негативна автокореляція просторового викиду (ЛН) в даному випадку може бути приводом нестачі місткості безпосередньо в самих парцелях цього просторового викиду як наслідок використання ємності його захисних споруд містянами із суміжних парцел кластеру високих значень (НН).

Парцели, на яких не виявлено ознак кластеру (просторового викиду), через дисперсний характер розподілу параметрів досліджуваного нами атрибуту, необхідно облаштовувати спорудами цивільного захисту відповідно до порядку зменшення показника нестачі ємності споруд цивільного захисту по відношенню до чисельності наявного населення.

Висновки. Просторовий аналіз розподілу місткості захисних споруд цивільного захисту м. Харкова виявив значні диспропорції досліджуваного атрибуту із превалюванням ділянок зі значною нестачею місткості укриттів по відношенню до щільності наявного на них населення. Загальний передбачуваний розрахунковий рівень нестачі місткості становить 489492 місця, при цьому загальні потреби містян в укриттях задоволені на 66,87 %. Окрім того, очевидні значні просторові прогалини кількісної та ємнісної забезпеченості жителів міста захисними спорудами, так на 360 з 582 ділянок міста (навіть беручи до уваги меншу концентрацію населення) під час повітряної тривоги мешканцям фактично ніде укритися.

У період дії воєнного стану на території України управлінські рішення приймаються в умовах цейтноту, й мають базуватися на раціональному підході до використання фінансових активів, матеріальної бази (будматеріали й устаткування) та найголовніше

людських ресурсів (робочої сили). Нерівномірний просторовий розподіл захисних укриттів на території м. Харкова, значна нестача їх місткості по відношенню до чисельності наявного населення та перелічені вище лімітуючі фактори вимагають від Департаменту цивільного захисту Харківської обласної військової адміністрації прийняття зважених рішень та впровадження ефективного плану по усуненню перелічених недоліків у сфері цивільного захисту населення. На нашу думку, доречним в цьому випадку буде слідувати принципу тектологічного закону найменших (слабкої ланки): загальна стійкість системи визначається найменшою відносною стійкістю окремих її частин [3]. Розглядаючи в цьому контексті систему споруд цивільного захисту м. Харкова та беручи, як атрибут міцності, показник забезпеченості населення захисними спорудами, модифікацію існуючих і будівництво нових укриттів необхідно про-

дити спочатку в парцелях (окремих їх групах), що є найбільш відстаючими за згаданим атрибутом й мають найбільший радіус доступності до найближчого укриття, а потім виходячи виключно з атрибуту нестачі ємності укриттів. Порядок зміцнення слабких ланок системи захисних укриттів м. Харкова наступний: 1) центральні ділянки кластеру НН; 2) периферійні ділянки кластеру НН; 3) парцели із найбільшою нестачею місткості, що не потрапили до кластерів (просторових викидів); 4) ділянки просторового викиду НЛ. Як показала практика, міська влада частково намагається надолужити нестачу місткості захисних споруд за рахунок будівництва зупинок укриттів, проте нехтує принципами раціональності й зводить нові укриття в межах радіусу доступності вже існуючих захисних споруд подвійного призначення із очевидною надлишковою місткістю (біля станцій метрополітену) [5].

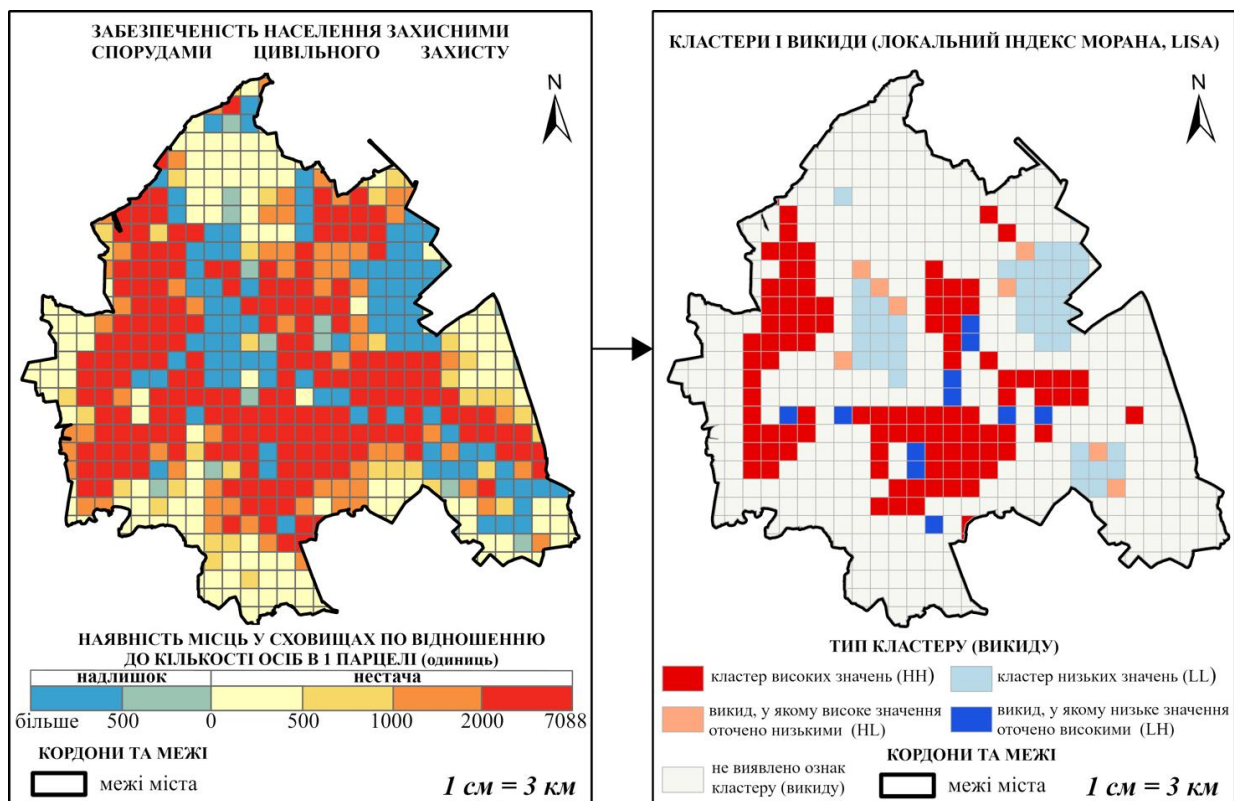


Рис. 7. Виявлення закономірностей розподілу необхідної місткості укриттів з використанням локального індексу просторової автокореляції (LISA)

Fig. 7. Identification of the patterns distribution of the required shelters capacity using the local index of spatial autocorrelation (LISA)

Проблемними питаннями для міста залишаються: відсутність обліку місткості всіх представлених в [7] укриттів, валідація їх відповідності будівельним нормам [1], а також низька обізнаність населення відносно локацій найближчих укриттів. Окремо слід вказати на необхідність доопрацювання нормативно-правової бази стосовно меж радіусу збору населення, що підлягає укриттю (до 500 м) [1], оскільки вона визначає виключно географічну доступність (вектор руху особи до найближчого укриття), замість геоме-

тричної – врахування транспортної мережі, кутів нахилу місцевості, перешкод й імпедансів. Подальші дослідження за даною тематикою будуть вестися у напрямку визначення оптимальної кількості (по відношенню до чисельності наявних містян) та місць розташувань (за параметром геометричної доступності) захисних споруд у парцелях кластеру високих значень (НН) з використанням засобів мережевого аналізу.

Список використаної літератури:

1. Будинки і споруди. Захисні споруди цивільної оборони: ДБН В 2.2.5-97. [Чинний від 1998-01-01]. Київ, 1998. 22 с. (Інформація та документація).
2. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> (дата звернення: 13.04.2023).
3. Марченко О.М., Томаневич Л.М. Теорія організації: навч. посіб. Львів: ЛьвДУВС, 2015. 359 с.
4. Набір даних про щільність населення. Kontur: веб-сайт. URL: <https://www.kontur.io/portfolio/population-dataset> (дата звернення: 13.04.2023).
5. Скільки Харків платить за безпечні зупинки. *Kharkiv Today – інформаційно-аналітичний портал Харкова*: веб-сайт. URL: <https://2day.kh.ua/ua/kharkow/skilky-kharkiv-platyt-za-bezpechni-zupynky> (дата звернення: 13.04.2023).
6. Список бомбосховищ у Харківській області. *Комунальне некомерційне підприємство Харківської обласної ради «Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф»*. веб-сайт. URL: <https://emd.kh.ua> (дата звернення: 13.04.2023).
7. Укриття для населення. *Геопортал Харкова: геопросторові дані інфраструктури міста*: веб-сайт. URL: <https://smart.citynet.kharkov.ua/opendataportal> (дата звернення: 13.04.2023).
8. Ding, Z., Dong, H., Li, Y., Yao, X., & Zhang, H. (2022). Study on the Emergency Shelter Spatial Accessibility Based on Simulation of Evacuation Process. *Proceedings of the 2022 3rd International Conference on Modern Education and Information Management (ICMEIM 2022)*, 10-20. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-044-2_3
9. Ding, Z., Dong, H., Yang, L., Xue, N., He, L., & Yao, X. (2022). Study on the Emergency Shelter Spatial Accessibility Based on the Adaptive Catchment Size 2SFCA Method. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11, 593. <https://doi.org/10.3390/ijgi11120593>
10. Dou, K., & Zhan, Q. (2011). Accessibility analysis of urban emergency shelters: Comparing gravity model and space syntax. *International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China*, 5681-5684, <https://doi.org/10.1109/RSETE.2011.5965642>
11. Dou, K., Zhan, Q., & Shiguo L. (2012). GIS-based responsibility area subdivision for metropolitan emergency shelters – Case study of Wuchang district, Wuhan city. *The 6th International Association for China Planning (IACP) Conference, Wuhan, China*, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/IACP.2012.6342983>
12. How Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-m.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
13. How Kriging works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
14. How Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
15. Jekl, J., & Jánký, J. (2022). Security Challenges and Economic-Geographical Metrics for Analyzing Safety to Achieve Sustainable Protection. *Sustainability*, 14, 15161. <https://doi.org/10.3390/su142215161>
16. Liang, Y., Xie, Zh., Chen, S., Xu, Y., Xin, Z., Yang, S., Jian, H., & Wang, Q. (2023). Spatial Accessibility of Urban Emergency Shelters Based on Ga2SFCA and Its Improved Method: A Case Study of Kunming, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 149 (2). <https://doi.org/10.1061/JUPDDM.UPENG-4325>
17. Rizqihandari, N., & Indratmoko, S. (2017). Using Open Street Map Data for Population Distribution Model. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 79. <https://doi.org/10.2991/icge-16.2017.48>
18. Shi, Y., Zhai, G., Xu, L., Zhu, Q., & Deng, J. (2019). Planning Emergency Shelters for Urban Disasters: A Multi-Level Location-Allocation Modeling Approach. *Sustainability*, 11(16), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su11164285>
19. Su, H., Chen, W., & Wang, Z. (2020). Evaluating the Crowdedness of Urban Emergency Shelters Based on the Improved Gravity Model. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 502, 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/502/1/012046>.
20. Tang, S., Wang, J., Xu, Y., Chen, S., Zhang, J., Zhao, W., & Wang, G (2023). Evaluation of Emergency Shelter Service Functions and Optimisation Suggestions – Case Study in the Songyuan City Central Area. *Sustainability*, 15(9), 7283. <https://doi.org/10.3390/su15097283>
21. Transform Field (Data Management) *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/transform-field.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
22. Unal M., & Uslu C. (2016). GIS-Based accessibility analysis of urban emergency shelters: The case of Adana city. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W1: 95-101. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w1-95-2016>
23. What is areal interpolation? *Esri (Environmental Systems Research Institute)*: веб-сайт. URL: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/extensions/geostatistical-analyst/what-is-areal-interpolation.htm> (дата звернення: 13.04.2023).
24. Zhu, W., Xing, H., & Kang, W. (2023). Spatial Layout Planning of Urban Emergency Shelter Based on Sustainable Disaster Reduction. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 2127. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032127>

Kateryna Sehida

DSc (Geography), Professor of the Department of Human Geography and Regional Studies,
V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: kateryna.sehida@karazin.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1122-8460>

Serhii Chekhov

PhD Student of the Department of Human Geography and Regional Studies,
V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine,
e-mail: serhii.chekhov@student.karazin.ua, <https://orcid.org/0009-0003-4940-3214>

SPATIAL ANALYSIS OF PROVISION THE POPULATION OF KHARKIV WITH CIVIL DEFENSE FACILITIES

The article analyzed the territorial aspect of the distribution and capacity characteristics of civil defense structures in the city of Kharkiv, comparing it with the population size. In the first stage, population density was calculated for specific areas within the maximum permissible radius of the nearest available shelter. The spatial characteristics of the location (level of clustering) and capacity of the defense structures were examined for these same areas. Finally, the population size was correlated with the capacity of the civil defense structures, and spatial clustering of the identified areas was conducted based on this attribute.

The geostatistical method of spatial interpolation was used to determine population density in specific areas and fill gaps in the primary data. The application of this method required the following sequential procedures: transforming the primary data according to a normal distribution, constructing a semivariogram model of the transformed variables, aggregating the model into a surface, and defining target polygons. During the calculation of the territorial provision of various types of shelters in the city of Kharkiv, the following sources were utilized: a layer of point objects from the interactive map of open data on the Kharkiv Geoportal (to determine the locations and types of protective structures), and information from the website of the non-commercial enterprise «Emergency Medical Care and Disaster Medicine Center» of the Kharkiv Regional Council (to update information on the capacity of storage facilities and anti-radiation shelters). The Global Moran's Index and Local Moran's Index are statistical methods used to assess spatial autocorrelation, which is the degree of clustering or spatial pattern in a variable across a defined area. In this case, they were employed to evaluate the spatial autocorrelation of the capacity of civil defense structures in specific parcels in Kharkiv. The Global Moran's Index indicated a high level of clustering of areas based on this attribute. Using the Local Moran's Index, parcels were classified into five object classes: High-High cluster (HH), Low-Low cluster (LL), a high-value outlier surrounded by low-values (HL), a low-value outlier surrounded by high-values (LH), and areas without cluster or outliers (non-significant).

The scientific novelty of the article, compared to related studies on a similar topic, lies in the utilization and transformation of a hexagonal grid of population density distribution in the city of Kharkiv, in accordance with the research requirements. In the conclusions, based on the results of cluster analysis and through the adaptation of the tectological principle of the weakest link to the realities of the present, a comprehensive sequential strategy for addressing the shortcomings of territorial provision of civil defense structures in ensuring the population of Kharkiv was proposed.

Keywords: *civil defense structures, cluster analysis, semivariogram, spatial autocorrelation, spatial interpolation, population density.*

References:

1. Будинки і споруди. Зажисні споруди цивільної оборони: ДБН В 2.2.5-97 [Buildings and Structures. Civil Defense Protective Structures: DBN V 2.2.5-97]. [Chynnyi vid 1998-01-01]. Kyiv, 1998. 22 s. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
2. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 2 zhovtnia 2012 roku № 5403-VI [Civil Protection Code of Ukraine: Law of Ukraine dated October 2, 2012, No. 5403-VI]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17> [in Ukrainian].
3. Marchenko, O.M., & Tomanevych, L.M. Teoriia orhanizatsii: navch. posib [Theory of Organization: a textbook]. Lviv: LvDUVS, 2015. 359 s [in Ukrainian].
4. Nabir danykh pro shchilnist naseleння [Dataset on population density]. *Kontur*. Retrieved from <https://www.kontur.io/portfolio/population-dataset> [in English].
5. Skilky Kharkiv platyt za bezpechni zupynky [How much does Kharkiv pay for safe bus stops]. *Kharkiv Today – informatsiino-analitychnyi portal Kharkova*. Retrieved from <https://2day.kh.ua/ua/kharkov/skilky-kharkiv-platyt-za-bezpechni-zupynky> [in Ukrainian].
6. Spysok bomboskhovyshch u Kharkivskii oblasti [List of bomb shelters in Kharkiv region]. *Komunalne nekomertsiiine pidpriemstvo Kharkivskoi oblasnoi rady «Tsentri ekstremoi medychnoi dopomohy ta medytyny katastrof»*. Retrieved from <https://emd.kh.ua> [in Ukrainian].
7. Ukryttia dlia naseleння [Shelters for the population]. *Heoportali Kharkova: heoprostorovi dani infrastruktury mista*. Retrieved from <https://smart.citynet.kharkov.ua/opendataportal> [in Ukrainian].
8. Ding, Z., Dong, H., Li, Y., Yao, X., & Zhang, H. (2022). Study on the Emergency Shelter Spatial Accessibility Based on Simulation of Evacuation Process. *Proceedings of the 2022 3rd International Conference on Modern Education and Information Management (ICMEIM 2022)*, 10-20. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-044-2_3
9. Ding, Z., Dong, H., Yang, L., Xue, N., He, L., & Yao, X. (2022). Study on the Emergency Shelter Spatial Accessibility Based on the Adaptive Catchment Size 2SFCA Method. *ISPRS Int. J. Geo-Inf*, 11, 593. <https://doi.org/10.3390/ijgi11120593>
10. Dou, K., & Zhan, Q. (2011). Accessibility analysis of urban emergency shelters: Comparing gravity model and space syntax. *International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering, Nanjing, China*, 5681-5684. <https://doi.org/10.1109/RSETE.2011.5965642>
11. Dou, K., Zhan, Q., & Shiguo L. (2012). GIS-based responsibility area subdivision for metropolitan emergency shelters – Case study of Wuchang district, Wuhan city. *The 6th International Association for China Planning (IACP) Conference, Wuhan, China*, pp. 1-4. <https://doi.org/10.1109/IACP.2012.6342983>

12. How Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-m.htm>.
13. How Kriging works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
14. How Spatial Autocorrelation (Global Moran's I) works. *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>.
15. Jekl, J., & Janský, J. (2022). Security Challenges and Economic-Geographical Metrics for Analyzing Safety to Achieve Sustainable Protection. *Sustainability*, 14, 15161. <https://doi.org/10.3390/su142215161>
16. Liang, Y., Xie, Zh., Chen, S., Xu, Y., Xin, Z., Yang, S., Jian, H., & Wang, Q. (2023). Spatial Accessibility of Urban Emergency Shelters Based on Ga2SFCA and Its Improved Method: A Case Study of Kunming, China. *Journal of Urban Planning and Development*, 149 (2). <https://doi.org/10.1061/JUPDDM.UPENG-4325>
17. Rizqihandari, N., & Indratmoko, S. (2017). Using Open Street Map Data for Population Distribution Model. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 79. <https://doi.org/10.2991/icge-16.2017.48>
18. Shi, Y., Zhai, G., Xu, L., Zhu, Q., & Deng, J. (2019). Planning Emergency Shelters for Urban Disasters: A Multi-Level Location-Allocation Modeling Approach. *Sustainability*, 11(16), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su11164285>
19. Su, H., Chen, W., & Wang, Z. (2020). Evaluating the Crowdedness of Urban Emergency Shelters Based on the Improved Gravity Model. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 502, 012046. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/502/1/012046>.
20. Tang, S., Wang, J., Xu, Y., Chen, S., Zhang, J., Zhao, W., & Wang, G (2023). Evaluation of Emergency Shelter Service Functions and Optimisation Suggestions – Case Study in the Songyuan City Central Area. *Sustainability*, 15(9), 7283. <https://doi.org/10.3390/su15097283>
21. Transform Field (Data Management) *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/data-management/transform-field.htm>.
22. Unal M., & Uslu C. (2016). GIS-Based accessibility analysis of urban emergency shelters: The case of Adana city. *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W1: 95-101. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w1-95-2016>
23. What is areal interpolation? *Esri (Environmental Systems Research Institute)*. Retrieved from <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.7/extensions/geostatistical-analyst/what-is-areal-interpolation.htm>.
24. Zhu, W., Xing, H., & Kang, W. (2023). Spatial Layout Planning of Urban Emergency Shelter Based on Sustainable Disaster Reduction. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 2127. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032127>

Received 15 April 2023

Accepted 18 May 2023