

ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ ПОШУКУ ПРИДАТНОЇ ДІЛЯНКИ МІСТА ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

В статті подається один із варіантів вирішення типової задачі пошуку оптимального місцеположення для нового об'єкта, базуючись на наборі факторів, в середовищі ГІС (на прикладі пошуку придатної ділянки для побудови нової школи поруч з парками, дитячими майданчиками, на відстані від інших шкіл та кладовищ). Коротко характеризуються складності, з якими стикаються дослідники міст та інфраструктури. Описується загальний алгоритм виконання просторового аналізу, який включає моделювання явищ та процесів. Розглядаються 5 етапів вирішення аналітичної просторової задачі, які включають постановку задачі, розділення її на окремі складові, вивчення вихідних даних, виконання аналізу та перевірку отриманих результатів. Наводиться приклад послідовності дій, необхідних для перекласифікації даних з метою обрахунку відносного показника. Описані окремі інструменти платформи ArcGIS та можливості їх застосування для цілей просторового аналізу. Подаються можливості подальшого ускладнення логіки моделювання за рахунок більшого комбінування вхідних даних, що надає змогу отримувати максимально корисну інформацію.

Ключові слова: просторовий аналіз, пошук придатної ділянки, урбаністичні дослідження, антропогенна інфраструктура, ГІС, ArcGIS, моделювання явищ та процесів, інфраструктура Харкова.

А. С. Чуєв. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОИСКА ПРИГОДНОГО УЧАСТКА ГОРОДА С ПОМОЩЬЮ ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА. В статье подается один из вариантов решения типичной задачи поиска оптимального местоположения для нового объекта, основываясь на наборе факторов, в среде ГИС (на примере поиска подходящей участка для строительства новой школы рядом с парками, детскими площадками, на расстоянии от других школ и кладбищ). Коротко характеризуются сложности, с которыми сталкиваются исследователи городов и инфраструктуры. Описывается общий алгоритм выполнения пространственного анализа, который включает моделирование явлений и процессов. Рассматриваются 5 этапов решения аналитической пространственной задачи, включающие постановку задачи, разделение ее на отдельные составляющие, изучение исходных данных, выполнение анализа и проверку полученных результатов. Приводится пример последовательности действий, необходимых для переклассификации данных с целью расчета относительного показателя. Описаны отдельные инструменты платформы ArcGIS и возможности их применения для целей пространственного анализа. Подаются возможности дальнейшего осложнения логики моделирования за счет большего комбинирования входных данных, что предоставляет возможность получать максимально полезную информацию.

Ключевые слова: пространственный анализ, поиск подходящего участка, урбаністические исследования, антропогенная инфраструктура, ГИС, ArcGIS, моделирование явлений и процессов, инфраструктура Харькова.

Вступ до проблеми. Сучасні географічні, урбаністичні, техногенні та інфраструктурні дослідження міст переважно спрямовані на аналіз існуючих тенденцій, виявлення закономірностей розподілу об'єктів, побудову трендів та прогнозування розвитку тих чи інших складових міської екосистеми. Така тенденція має один недолік – вона відходить від нагальних потреб суспільства. Типові задачі просторового аналізу та геопланування виконуються спеціалістами сфери міського господарства, хоча більшість географів володіють засобами ГІС, але не використовують їх поза межами суто наукових досліджень.

Ситуація може бути пояснена рядом складнощів, з якими стинаються дослідники. Перш за все це стосується отримання первинних даних. Якщо для регіонального аналізу достатньо скористатись статистичними довідниками, то для міст аналогічних джерел даних не має. Точніше вони є, але інформацію з них виокремити досить складно. До таких можна віднести, наприклад, електронні довідники. Дослідники використовують переважно наявну публічну інформацію, яка не надає змоги провести глибокий просторовий аналіз інфраструктурних особливостей. В попередніх дослідженнях автором вже описувалась методика збору інформації з довідника 2ГІС [10]. В даній роботі також будуть використовуватись дані, отримані цим шляхом [8].

Урбогеосистеми стають все більш складними, тому для їх дослідження необхідно використовувати комбіновані методики моделювання, алгебри картографування, прогнозування, геостатистики та інші [4]. Сучасна ГІС-платформа надає досліднику інструментальний набір, який допомагає автоматизувати виконання рутинних завдань. Якщо використати ці можливості для вирішення типових просторових задач, можна значно підвищити інтерес суспільства до географічних досліджень взагалі та ГІС-технологій зокрема [19].

Метою публікації є розгляд одного з варіантів вирішення типової задачі пошуку оптимального місцеположення для нового об'єкта, базуючись на наборі факторів, в середовищі ГІС (на прикладі пошуку придатної ділянки для побудови нової школи поруч з парками, дитячими майданчиками та на відстані від інших шкіл, кладовищ). Робота націлена на опис можливості практичного використання дослідниками-географами свої знань та напрацювань.

Попередні дослідження. Дослідженням інфраструктурної складової міст, геоінформаційних підходів та методики її вивчення, територіальних особливостей соціально-економічної інфраструктури займалися як вітчизняні, так і закордонні вчені, такі як Бітюкова В. [1], Ліхачова Е. [6], Берлянт А., Макдональд Е., Тікунова В.

[9], Зейлера М. [2], Кошкарєв А., Каракін В., Шаблій О., Мезенцев К. [7], Берковітц А. [13], Нілон Ц. [13]. Можливості використання просторового аналізу, ГІС-технологій для вирішення складних аналітичних задач, принципів комбінування та моделювання в ГІС займались Маккір Д. [20], Зейлер М. [2], Берлянт А., Гібс Дж., Бетті М. [20], Гудчайлд М. [18], Бейлі Т. [12], Кова Т. [18], Перенчик А. [21], Бут Б. [21], Вуу С. [21], Тікунов В. [9], Костріков С.В. [3,4,5,10,11] та інші вчені.

Виклад основного матеріалу. Однією з головних переваг ГІС-технологій є можливість вирішення складних аналітичних задач (до числа яких відноситься просторовий аналіз) [14]. Втім самих лише інструментів недостатньо для пошуку рішення, тому від дослідника потребується первинна інформація та постановка питання. На основі цих даних можна буде вибудовувати модель. В загальному розумінні модель можна трактувати як уявлення реальності. Вони призначені для опису, розуміння та прогнозування подій в реальному житті [23]. В термінах ГІС виділяють два різновиди моделей: моделі подання (реальні об'єкти) та моделі процесів (процеси, які відбуваються з реальними об'єктами) [18].

За допомогою просторового аналізу досліджуються переважно взаємовідносини між об'єктами (моделі процесів) чи виконується прогнозування явищ. Це також називають картогра-

фічним моделюванням. Програмний комплекс *ArcGIS* та інструментальна панель *ArcToolBox* надають численні можливості ускладнення моделей процесів за рахунок додавання логіки, комбінування задач, співставлення величин, які вимірюються в різних одиницях виміру [20].

Просторовий аналіз передбачає роботу з растрами, тому більшість інструментів модулю *Spatial Analyst* платформи *ArcGIS* приймають в якості вхідних даних растрові поверхні [20]. З цього можна зробити висновок, що моделювання процесів базується на обрахунку піксельних значень з використанням додаткової атрибутивної інформації. Простий приклад – так звана операція «додавання растрів». Значення кожного пікселя одного шару додається до значення того ж пікселя з іншого шару. Крім того, дослідник може додати специфічну логіку обрахунку, щоб оперувати не тільки чисельними даними. Співставляючи шари забудови міста та забруднення повітря ми можемо знайти «піксельні зони», які найбільш привабливі для побудови дитячих оздоровчих закладів (пікселі, в яких забруднення повітря нижче допустимої норми, не зайняті іншими спорудами) [15]. Ускладнювати логіку обрахунку можна настільки, наскільки цього потребує вирішення просторової задачі. В загальному ж випадку модель має бути побудована найменшою кількістю операцій.



Рис. 1. Алгоритм виконання просторового аналізу

Найчастіше просторовий аналіз виконується за рахунок моделювання відстаней (наприклад, побудова зон доступності об'єктів), поверхонь (інтерполювання даних народжуваності по області), придатності (пошук оптимального місцеположення для нового об'єкта) та прогнозування (вираховування трендів та можливих шляхів розвитку явищ) [22]. Оскільки просторовий аналіз

ставить перед собою вирішення конкретних аналітичних задач, він може бути представлений як послідовність декількох кроків (рис. 1).

Перше, що необхідно зробити досліднику, чітко поставити перед собою питання, яким повинен бути результат моделювання. Виходячи з мети можна вибрати оптимальні шляхи для вирішення задачі. В нашому випадку пропонується

знайти оптимальне місцеположення для нової школи. При цьому в результаті планується відшукати не тільки придатні ділянки, але й ще оцінити сприятливість різних районів міста щодо побудови нової школи. Відповідно метою моделювання є побудова карти ранжування придатності. Не існує шкали обрахунку цього показника, тому він буде обраховуватись як результат накладання декількох растрів.

Наступним кроком необхідно розділити задачі на окремі складові, які можуть бути виконані ізольовано. Виділяючи підзадачі, дослідник повинен одразу обирати і одиниці обрахунку досліджуваних показників. В нашому випадку оптимальним місцеположенням для нової школи пропонується вважати таке, яке максимально віддалено від інших шкіл, кладовищ, знаходиться поруч із парковими зонами, дитячими майданчиками (рис. 2).

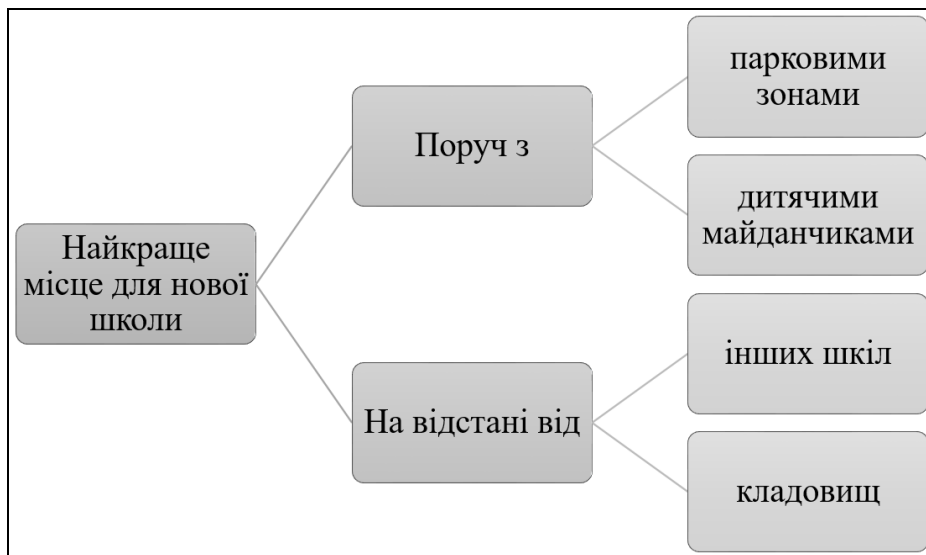


Рис. 2. Визначення вагомих факторів, які впливають на вибір ділянки міста для побудови нової школи

Запропонований набір факторів використовується лише як приклад. Умовно логічним є те, що нова школа буде зайвою, поруч із вже існуючою. Близькість кладовища може негативно сприйматись як батьками, їх дітьми, так і вчителями [16]. Паркові зони та дитячі майданчики асоціюються з благоустроєм та покращують загальну привабливість ділянки міста.

Після того, як задача сформована та розбита на окремі складові, можна визначити, яким чином будуть отримуватись проміжні дані. Під останніми розуміється інформація, яка пройшла перекласифікацію з метою подальшого її співставлення з іншими даними. В нашому випадку ми маємо вхідні точкові та полігональні об'єкти, представлені на рис. 3 (А – дитячі майданчики, Б – школи, В – кладовища, Г – паркові зони).

За допомогою інструменту побудови поверхні відстаней по прямій дослідник має змогу змоделювати ранжування території щодо розподілу нею досліджуваних об'єктів. В нашому випадку були створені моделі евклідових відстаней від шкіл, дитячих майданчиків, кладовищ та паркових зон з метою ранжування території міста щодо показника забезпеченості цими об'єктами. Візуалізація результатів представлена на рисунку 4 (А – дитячі майданчики, Б – школи, В – кладовища, Г – паркові зони).

В процесі побудови моделей відстані були виділені зони доступності досліджуваних об'єктів. Перша зона знаходиться на радіальній відстані в 500 метрів. Таку відстань пропонується вважати як гранично допустиму для того, щоб вважати, що об'єкт знаходиться близько [17]. Наступні зони будувались з нарощенням відстані кожні 500 метрів. Тобто перша зона – 0-500 метрів, друга зона – 500-1000 метрів і далі аналогічно. В результаті ми отримали моделі, які класифікують територію Харкова на 10 зон доступності шкіл, дитячих майданчиків, кладовищ та паркових зон.

Самі по собі ці моделі вже мають шляхи практичного застосування, але для вирішення комплексної просторової задачі їх необхідно скомбінувати. В нашому випадку всі значущі фактори представлені показниками відстаней, але в інших ситуаціях серед них можуть бути відносні чи нечисельні показники. Для того, щоб мати змогу співставляти дані, їх необхідно перекласифікувати.

Інструменти перекласифікації змінюють значення осередків (пікселів, комірок растрової поверхні) на альтернативні значення за допомогою різних методів. Можна перекласифікувати одночасно одне значення або відразу групу значень, використовуючи альтернативні поля чи

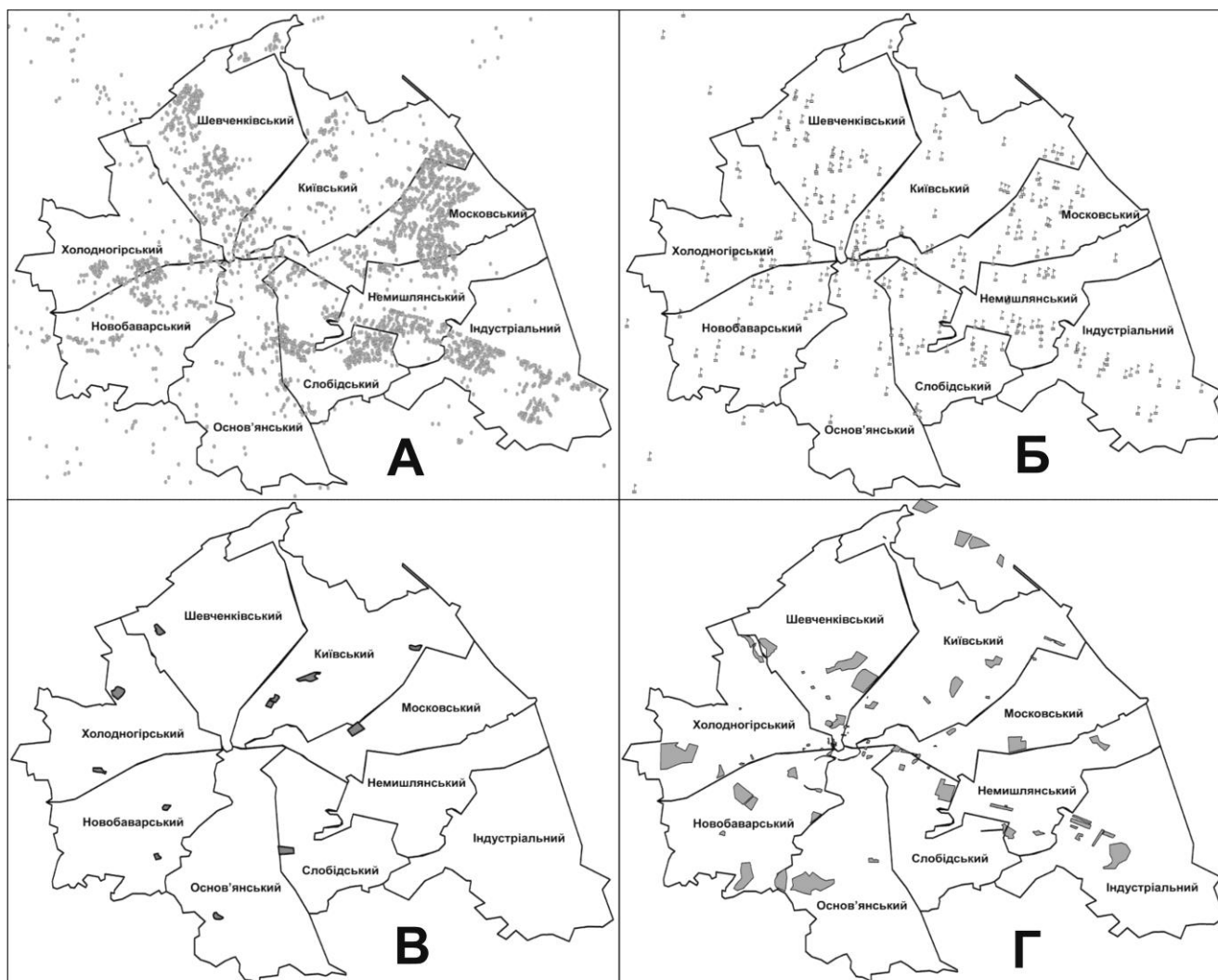


Рис. 3. Дитячі майданчики, паркові зони, школи та кладовища міста Харків з територіальною прив'язкою

критерії, такі як задані інтервали (наприклад, група значень з 10 інтервалів), або за площею (наприклад, група значень з 10 груп, що містять однакову кількість осередків) [20].

Всі методи перекласифікації застосовуються до кожного осередку в межах області. Тобто при застосуванні альтернативного значення до існуючого, всі методи перекласифікації застосовують альтернативне значення до кожної клітинки вихідної зони [21].

Найпоширеніші причини, за якими потрібно перекласифікувати дані:

- Заміна значень на підставі нової інформації;
- Групування значень;
- Перекласифікація значень в загальну шкалу (наприклад, для використання в аналізі придатності або для створення растра вартості).
- Присвоєння певного значення осередкам *NoData* (пікселі з відсутньою інформацією).

Для пошуку оптимального місцеположення для нової школи пропонується застосовувати

умовну 10-ти бальну шкалу, яка відповідає зонам доступності досліджуваних об'єктів. Тобто, зона, яка відповідає 500-метровому буферу навкруги дитячих майданчиків отримує при перекласифікації оцінку «10», а та, що віддалена на 5 км (10 зона) – відповідно «1». Аналогічна логіка застосовується для паркових зон. Що стосується кладовищ та інших шкіл, то їх близькість вважається несприятливою, тому при перекласифікації застосовується обернена шкала: зона найближча до об'єкту отримує оцінку «1», а найвіддаленіші – «10». Процедура перекласифікації виконується засобами платформи *ArcGIS*, а саме модулю *Spatial Analyst* в автоматизованому режимі [20]. Від дослідника необхідно лише задати правила конвертації даних з однієї шкали в іншу.

В результаті були отримані моделі ранжування показників за новоствореною шкалою, які виглядають так само, як і моделі відстаней, але кожна зона інтерполяційного покриття має вже інші значення.

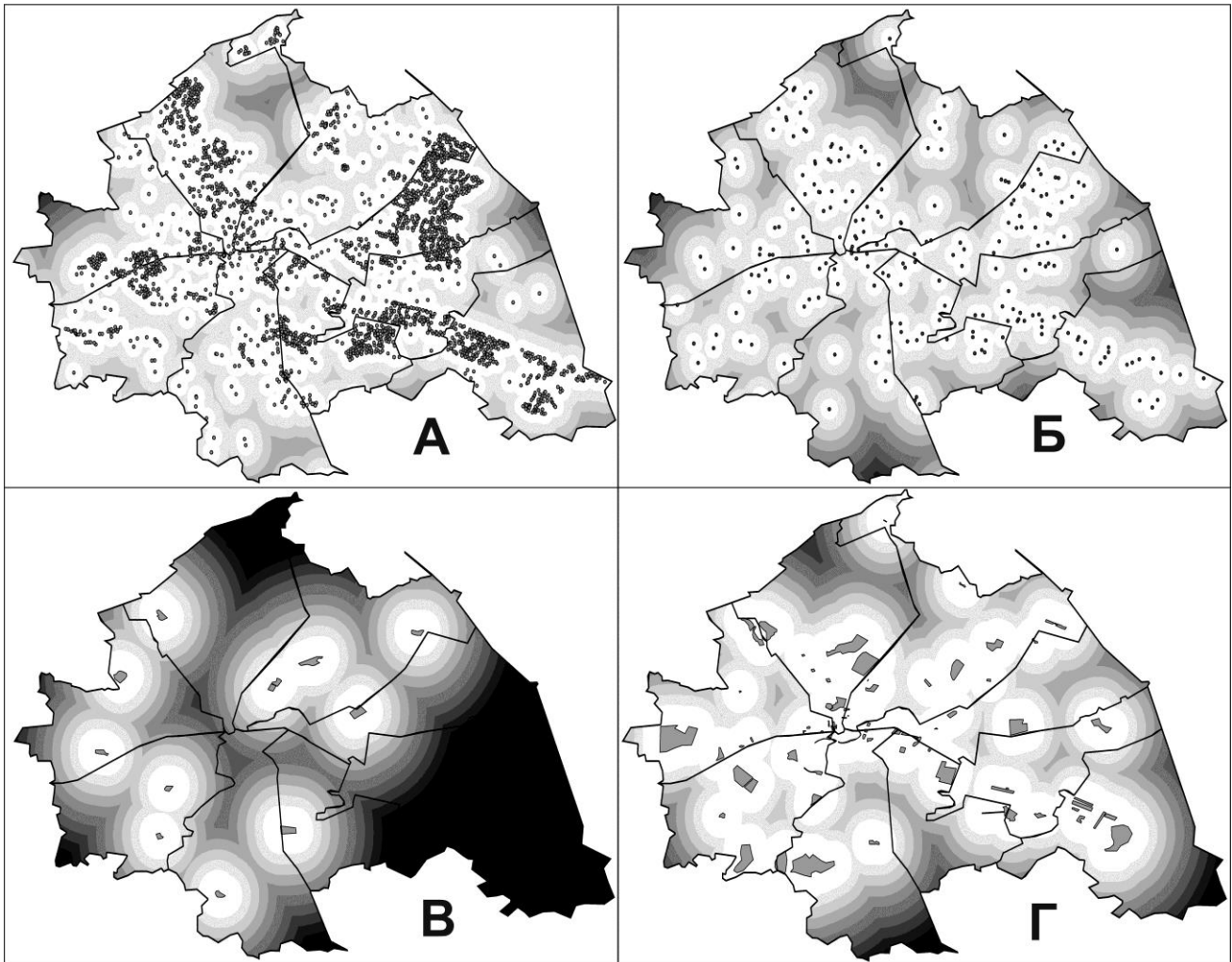


Рис. 4. Результат побудови моделей евклідової відстані для дитячих майданчиків, паркових зон, шкіл та кладовищ міста Харків

Для комбінування обрахованих показників можна скористуватись інструментом «Калькулятор растра» (*Raster Calculator*). Він дозволяє створювати і виконувати вирази алгебри карт в середовищі ArcGIS [20].

Калькулятор растра призначений для виконання однорядкового алгебраїчного виразу з використанням декількох інструментів і операторів. Якщо кілька інструментів або операторів використовуються в одному вираженні, то продуктивність цього виразу, як правило, буде вище, ніж продуктивність кожного з операторів або інструментів окремо [22]. Ідея в тому, щоб написати алгебраїчний вираз для обрахунку нових значень для пікселів поверхні, базуючись довільній кількості інших показників. В нашому випадку пропонується така формула:

Придатність = $0.5 \times \text{відстань до інших шкіл}$ + $0.2 \times \text{відстань до кладовищ}$ + $0.2 \times \text{відстань до паркових зон}$ + $0.1 \times \text{відстань до дитячих майданчиків}$.

Найважливішим фактором (50% ваги при обрахунку) вважається відсутність поруч інших

шкіл, що створює попит для населення. Близькість паркових зон вважається настільки ж важливою, як і віддаленість кладовищ, тому ці показники отримують по 20% ваги при обрахунку. 10% виділено для близькості дитячих майданчиків, оскільки це більше бонус, а ніж реальна перевага [6]. Результат роботи інструменту «Калькулятор растра» представлений на рис. 5.

За запропонованою формулою найбільше значення – 9.4. Це зони, які найбільш придатні для побудови нових шкіл (тобто такі, які в першу чергу знаходяться на відстані від інших шкіл). Також можна побачити тенденцію залежності обрахунку від розташування кладовищ (лінія придатності, яка проходить по території Московського, Немишлянського, Слобідського районів, знаходиться на межі найвіддаленішої від кладовищ зони). В подальшому доцільним можна вважати співставлення образованого показника придатності та щільності населення міста. Така модель реально показала би зони, в яких існує гостра недостатність шкіл в умовах високої щільності населення.

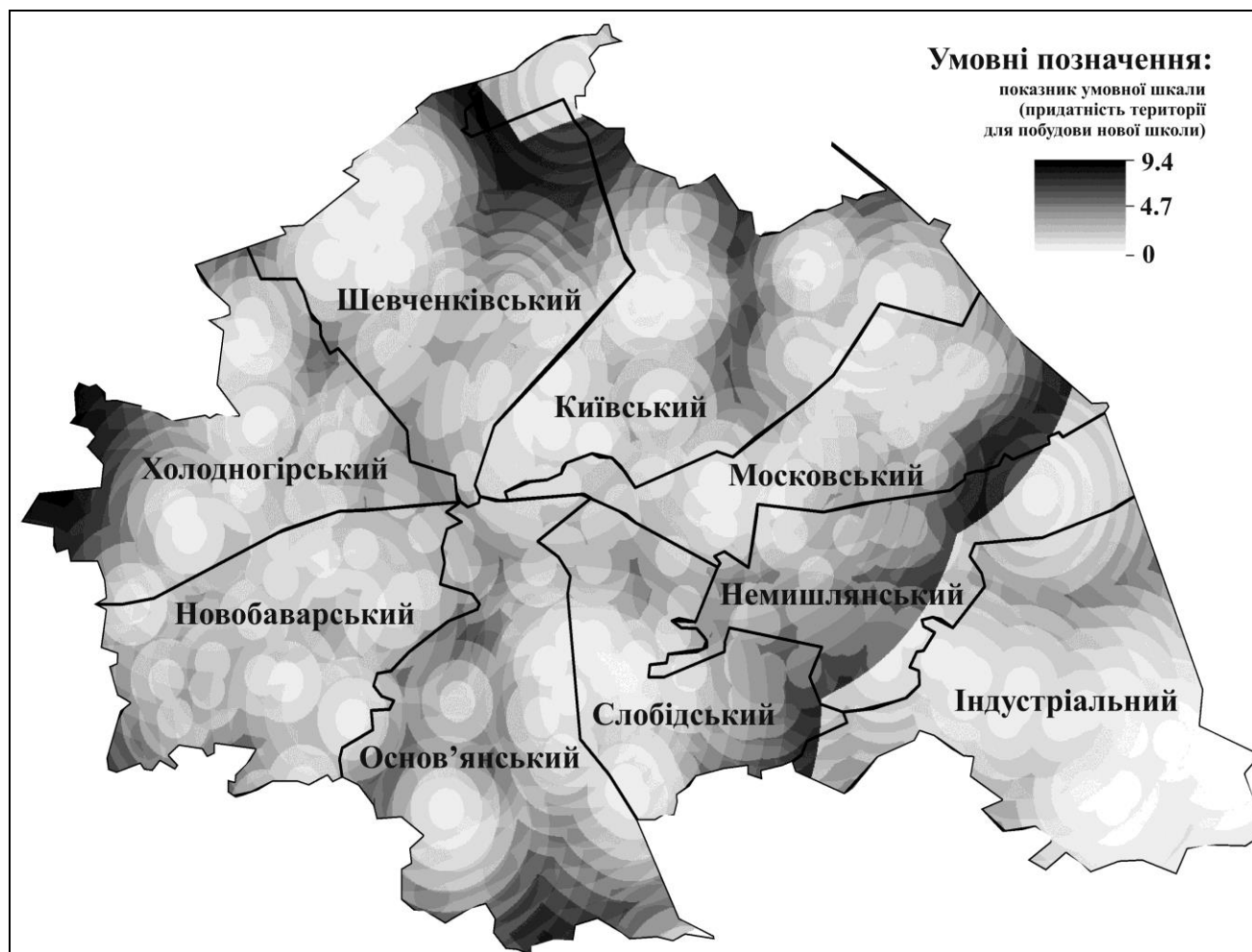


Рис. 5. Модель придатності території міста Харків для побудови нової школи

На наступному кроці необхідно перевірити результати моделі, але в нашому випадку це де-що важко зробити, оскільки вираховуваний показник придатності – відносний [9]. В більшості випадків перевірка моделі використовується для оцінки точності інтерполювання абсолютних показників. Наприклад, будується поверхня забрудненості повітря за показниками з контрольних точок, а після цього виконуються додаткові польові дослідження з метою обрахунку забруднення в нових точках та співставлення реальних значень з тими, які були отримані за допомогою моделювання.

Висновки. Запропонований алгоритм є лише прикладом того, як можна використати ГІС-технології для досліджень урбогеосистем, інфраструктурних особливостей міст та вирішення конкретних просторових аналітичних задач. Завдяки практично безмежним можливостям ускладнення логіки обрахунку показників можна аналізувати та співставляти фактори, які на перший погляд є

неспівставними (в першу чергу завдяки перекласифікації даних та алгебрі карт).

Розбиття задач просторового аналізу на окремі складові та виконання його в декілька етапів допомагають досліднику мислити не в розрізі того, що треба зробити, а як це треба робити. Такий концептуальний підхід може бути корисним, якщо шляхи досягнення мети не дуже очевидні.

Описаний приклад вирішення задачі пошуку придатної ділянки міста для побудови нового закладу може бути використаний для об'єктів будь-якого спрямування. Якщо виділити фактори, які впливають на оптимальність місцезонашування, та обрахувати логіку, необхідну для конвертації вихідних даних в кінцевий показник привабливості території, задача спрощується до виконання декількох математичних обрахунків та операцій моделювання, в чому може допомогти будь-яка сучасна ГІС-платформа (*ArcGIS* в першу чергу).

Література

1. Битюкова, В. Р. Соціально-екологічні проблеми розвитку городов Росси / В.Р. Битюкова. – М. : Едиториал УРСС, 2004. – 448 с.

2. Зейлер, М. Моделирование Нашего Мира. Пособие ESRI по проектированию баз геоданных / М. Зейлер. – Киев : ECOMM Co, 2004. – 254 с.
3. Костріков, С. В. Геоінформаційне моделювання природно-антропогенного довкілля. Наукова монографія / С. В. Костріков // Харків : Вид-во ХНУ ім. В. Н. Каразіна. – 2014. – С. 484.
4. Костріков, С. В. Дворівнева ГІС-модель для аналізу урбогеосистем / С. В. Костріков, О. С. Чуєв // Регіон – 2015 : Стратегія оптимального розвитку : Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Харків. – 2015. – С. 20-22.
5. Костріков, С. В. Програме забезпечення ГІС для LiDAR-технології дистанційного зондування в цілях аналізу урбогеосистем / С. В. Костріков, Д. Л. Кулаков, К. Ю. Сегіда // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – 2014. – Вип. 19. – С. 45-52.
6. Лихачева, Э. А. Город – экосистема / Э. А. Лихачева, Д. А. Тимофеев, М. П. Жидков и др. – М. : ИГРАН, 1996. – 336 с.
7. Мезенцев, К. В. Урбанізовані території України : причини і наслідки трансформації у пострадянський період / К. В. Мезенцев // Берегове : Вид-во Закарпатського угорського інституту ім. Ф. Ракоці. – 2012. – С. 310-317.
8. Офіційний сайт електронного довідника 2ГІС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу :: <https://2gis.ua>
9. Тикунов, В. С. Моделирование в социально-экономической географии / В. С. Тикунов – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 280 с.
10. Чуєв, О. С. Використання електронного довідника 2ГІС та ГІС-платформи ArcGIS для дослідження інфраструктури міста / О. С. Чуєв, С. В. Костріков // Вісник Херсонського державного університету, серія «Географічні науки». – Вип. 7. – Херсон : Видавництво ХДУ. – 2017. – С. 52-62.
11. Чуєв, О. С. Оцінка через ГІС-заоби просторової диференціації благоустрою міста як функції урбогеосистеми (на прикладі м. Харків) / О. С. Чуєв, С. В. Костріков // Часопис соціально-економічної географії. – Вип. 18(1). – Харків : Видавництво ХНУ. – 2015. – С. 52-62.
12. Bailey, T. A Review of Statistical Spatial Analysis in Geographical Information Systems / T. Bailey, S. Fotheringham, P. Rogerson eds. // Spatial Analysis and GIS. Taylor & Francis. – London. – 1994. – P.13-44.
13. Berkowitz, A. R. Understanding Urban Ecosystems : A New Frontier for Science and Education / A. R. Berkowitz, C. H. Nilon, K. S. Hollweg eds. – New York : Springer-Verlag, 2005. – 523 p.
14. Bourne, L. S. Polarities of Structure and Change in Urban Systems : A Canadian Example / L. S. Bourne // Geographical Journal. – 1997. – Vol. 43. – P. 339–349.
15. Bourne, L. S. Systems of Cities : Readings on Structure, Growth, and Policy / L. S. Bourne, J. W. Simmons (Editors) – Oxford : Oxford University Press, 1978. – 565 p.
16. Boyce, D. Forecasting Urban Travel : Past, Present and Future / D. Boyce, H. Williams. – Cheltenham – Northampton : EE Publishing, 2015. – 639 p.
17. Coffey, W. J. Factors and Correlates of Employment Growth in the Canadian Urban System, 1971-1991 / W.J. Coffey, R. G. Shearmur // Growth and Change. – 1998. – Vol. 29. – P. 44-66.
18. Goodchild, M. F. Towards a general theory of geographic representation in GIS / M. F. Goodchild, M. Yuan, T. J. Cova // International Journal of Geographical Information Science. – 2007. – Vol. 21. – N. 3. – P. 239–260.
19. Kostrikov, S. Human geography with geographical information systems / С. В. Костріков, К. Ю. Сегіда // Часопис соціально-економічної географії. – Вип. 15(2). – Харків : Видавництво ХНУ. – 2013. – С. 39-47.
20. Maquire, D. GIS, Spatial Analysis and Modeling / Editors : D. Maquire, M. Batty, M. Goodchild – Redlands : ESRI Press, 2005. – 478 p.
21. Perencsik, A. ArcGIS : Building a Geodatabase / A. Perencsik, S. Woo, B. Booth. – Redlands : ESRI Press, 2014. – 355 p.
22. Simmons, J. W. The organization of the urban system / J. W. Simmons // Bourne L. S., Simmons J. W. (eds), Systems of Cities : Readings on Structure, Growth, and Policy – Oxford : Oxford University Press. – 1978. – P. 61-69.
23. Wong, C. Mapping policies and programmes: The use of GIS to communicate spatial relationships in England / C. Wong, M. Baker, B. Webb, S. Hincks, A. Schulze-Baing // Environment and Planning B : Planning & Design. – 2015. – Vol. 42, No.6. – P. 1020-1039.