

necessary and sufficient for mapping means of cartographic modeling of features (qualitative, quantitative, functional) various objects, processes and phenomena of real reality and their changes in space and time). It is the semiotic structure interrelated between the sides of the content that makes the map language functioning and determines the degree of perfection (quality) of cartographic image.

This language structure is a reference for requirements, which provides for the control of the correspondence of elements of the content of any geoimage (representation of graphic language spatially and expressed information) with compliance mapping positions of mapping modeling. Thus, on the basis of Semiotic analysis, in development of topographic map as tactical-piloting, the necessity of introduction to its digital model of two additional "Coloro-thematic" layers is determined: objects of aeronautical information (dark blue) and "signal" component of the content of the map – signatures of their own names in Latin (light red) colors.

Key words: cartography, map-semiotics, iconic systems, visual means, object map language, semiotic sides of map content.

УДК 528.9:004.4 (477)

В.Остроух, канд. географ. наук, доц.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ
І.Підлісецька, канд. географ. наук, доц.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ
Г.Сумишин, студент,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ
О.Яценко, асистент,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2020.43.79-94>

ГІС-МОДЕЛЮВАННЯ ПІД ЧАС ПРИЙНЯТТЯ ВАЖЛИВИХ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ

У статті обґрунтовано важливість ГІС-моделювання для полегшення робочого процесу і більш ефективного прийняття важливих рішень, а також проведено аналіз геопросторових даних для вирішення деяких проблем під час використання програмного забезпечення ArcGIS. На сьогоднішній день ГІС технології використовуються в багатьох сферах життєзабезпечення та поліпшують ефективність праці. Процеси глобалізації в сучасному світі спонукають до якісного та ефективного управління різними сферами нашого життя. Особливо це стосується впровадження комп'ютерних технологій, а також глобальної мережі Інтернет.

Обґрунтовано важливість ГІС-моделювання з метою полегшення робочого процесу і підвищення ефективності прийняття важливих рішень. Розглянуто дослідження і публікації на тему ГІС і їх застосувань, наведено приклади успішного вирішення завдань і реалізації проектів за допомогою ГІС-аналізу. Використовуючи мережевий аналіз (теорія графів), було виконано моделювання деяких поширених проблем та їх вирішення, на прикладі дорожньо-транспортної мережі міста Києва.

Досліджено вирішення поширених задач, пов'язаних з дорожньою мережею, в результаті чого визначено найближчі лікарні до місць аварій, знайдено рішення до проблеми маршрутизації та обрано пункти обслуговування із переліку для скорочення. Також проведено аналіз з визначення найкращих місць для проживання в місті Києві на основі обраних критеріїв. Розглянутий досвід використання геоінформаційних систем разом із проведенням власних досліджень підтверджують думку про те, що в сучасному світі, сповненому викликів, ГІС – це високотехнологічний дієвий інструмент для аналізу великих обсягів географічної інформації і прийняття непростих рішень.

Ключові слова: геоінформаційна система, мережевий аналіз, аналіз накладання, цифрова карта.

Постановка проблеми. Процеси глобалізації в сучасному світі спонукають до якісного та ефективного управління різними сферами нашого життя. Особливо це стосується впровадження комп'ютерних технологій, а також глобальної мережі Інтернет.

В 60-х роках минулого століття паралельно з першими комп'ютерами зароджуються геоінформаційні системи (ГІС) в Канаді та США. Зрозуміло, що технологічні та функціональні можливості на той час були дуже примітивні, але фундамент для подальшого розвитку був закладений: винайдені перші шифрувальники, графічні дисплеї, що згодом стало поштовхом до створення великих баз даних просторової інформації [2].

Проте побудова інформаційного суспільства супроводжується різними викликами, протистояти яким здатні саме геоінформаційні системи. ГІС мають виконувати функцію інструменту для прийняття важливих стратегічних рішень на місцях і в межах всієї держави, наприклад, впливати на успішність бізнесу, безпеку пасажирських перевезень, функціонування комунальної інфраструктури тощо.

Аналіз досліджень і публікацій. На тему розвитку ГІС і її важливості в сучасному житті присвячено чимало зарубіжних і вітчизняних наукових статей і публікацій. Наприклад, було проведено опитування серед групи працівників державних установ в шести гмінах, які належать до агломерації міста Лодзь (Польща). Результати показали, що більшість опитаних вважає інструменти ГІС надзвичайно важливими для прийняття рішень в сферах інвестицій, інфраструктури, економіки, розвитку територій і кризового менеджменту [4].

Є чимало проектів із використанням ГІС для підтримки державної політики. Тут можна навести приклад застосування ГІС-технологій Інститутом Геодезії і Картографії (Польща) для потреб Міністерства сільського господарства і розвитку села цієї країни. Зокрема, науковці розробили критерії оцінки якості земель, щоб визначити зони сприятливі і непридатні для ведення сільського господарства.

Інший приклад. Вказаний Інститут в рамках досліджень під егідою Європейського Союзу розробив проект, який стосується проблематики розумного транспорту і передбачає використання

геоінформаційних систем, а також супутникової навігації [7].

На теренах України питання про забезпечення транспорту сучасними технологіями гостро постало ще в 2000-х роках. Протягом останніх років цю проблему вдається частково вирішувати завдяки доступності провідних світових картографічних сервісів з можливостями точного визначення локалізації приймача. Крім того, додатковими чинниками, що здатні прискорити розвиток геоінформаційних послуг в сфері транспорту, є формування міжнародних транспортних коридорів та зростання автоперевезень дорогами і спеціальних вантажів територією України.

Хоча кількість вітчизняних постачальників цифрових навігаційних карт і програмного забезпечення зростає, експерти констатують низьку якість як загальний недолік вітчизняної цифрової картографічної продукції. Також вони відзначають відсутність цілеспрямованої державної політики з розбудови ринку геоінформаційних послуг в сфері навігаційних ГІС на рівні, який вже давно існує в розвинених країнах Заходу. Тому досі залишається актуальною проблема виготовлення якісних геопросторових даних для розвитку в Україні геоінформаційного забезпечення як транспортно-навігаційних систем, так і систем прийняття управлінських рішень в усіх інших сферах [3].

Натомість на Заході ГІС-технології застосовуються в дуже багатьох сферах життєдіяльності. Наприклад, Університет Південної Каліфорнії в своєму блогу виділив 6 найпопулярніших сфер, які в своїй діяльності активно застосовують ГІС:

1. *Управління механізмом доставок до споживачів* (пошук оптимального маршруту з мінімальними ризиками і витратами);

2. *Страхування* (аналіз природних, демографічних та історичних факторів для точного визначення рівня ризику);

3. *Лісництво і деревозаготівля* (аналіз заліснених територій для ефективного використання землі, планування врожаїв та збереження екосистеми);

4. *Урбаністика* (планування міст і розвитку територій);

5. *Банкова система* (визначення оптимального місцезнаходження банківських відділень шляхом ГІС-аналізу потенційної бази клієнтів і місцевого рівня злочинності);

6. *Охорона здоров'я* (аналіз спалахів і поширення різних хвороб, а також закономірності таких поширень) [8].

Постановка завдання. На сьогодні ГІС використовуються в багатьох, але далеко не в кожній сфері життєзабезпечення, особливо в Україні. Але практика використання цієї технології переконливо доводить, що широке впровадження ГІС поліпшує ефективність праці і скорочує адміністративні процедури.

Метою даної статті є обґрунтування важливості ГІС-моделювання для полегшення робочого процесу і підвищення ефективності прийняття важливих рішень. Також ціль полягає у вивченні технологічного процесу геоінформаційної обробки даних під час проведення аналізу геопросторових даних в програмному забезпеченні ArcGIS.

Виклад основного матеріалу. Одним із ключових понять в сфері геоінформатики та цифрової картографії є геоінформаційна система. Такі системи працюють з географічною інформацією, тобто інформацією про об'єкти, явища, процеси реального світу, які мають

прив'язку в реальному просторі Землі. Також сучасні ГІС мають відповідати таким характеристикам:

- апаратне забезпечення відповідного класу;
- програмне забезпечення, яке дозволяє аналізувати і візуалізувати дані з просторовою прив'язкою;
- наявність різних за складністю баз даних;
- виконання та вирішення різних завдань і проблем;
- наявність людей, які контролюють весь процес нагромадження і перетворення даних [4].

Саме потреба у вирішенні завдань і проблем у сучасному світі найбільше стимулює розвиток ринку геоінформаційних послуг. Зокрема, в Польщі з 2000-х років з'являються картографічні підприємства, серед яких в лідери вийшла компанія «Емара». До здобутків даної фірми, яка в основному пропонує свою продукцію та послуги для бізнесу, можна віднести створення детальної цифрової карти Польщі, численні топографічні карти, плани міст, бази даних з адресами і т.д.

Також «Емара» досягла успіхів у питанні оптимізації маршрутів, коли незначна оптимізація коштів певного маршруту може дати багатомільйонні заощадження для великого підприємства. Можна навести інші практичні приклади оптимізації шляхів, реалізованих компанією «Емара»:

1) зменшення кількості маршрутів кожного дня на 1 для однієї з мереж продуктових супермаркетів он-лайн з доставкою до клієнта, що дозволило заощаджувати до кількох тисяч злотих на місяць;

2) розробка ефективних рішень, які дозволяють полегшити визначення маршрутів шкільних автобусів;

3) підтримка розвитку велосипедного транспорту шляхом ефективного перерозподілу наявних велосипедів між станціями;

4) поліпшення процесу вивозу сміття шляхом ефективного управління комунальним транспортом, враховуючи розміщення і кількість пунктів забору відходів, характеристики наявних транспортних засобів тощо;

5) ефективне планування шляхів великогабаритного транспорту, включаючи їхні технічні характеристики, параметри місткості, а також стан доріг;

6) покращення маршрутів для кур'єрів, що означає підвищення ефективності роботи кур'єрських фірм до 7%. [9]

В Україні суттєвим поштовхом в сфері геоінформаційних послуг стало входження американської компанії ESRI на український ринок в 2012 році. Її діяльність спрямована на допомогу компаніям, що займаються комерційною діяльністю, державним установам та навчальним закладам. Платформу ArcGIS в Україні використовують понад 500 організацій, в тому числі університети, картографічні підприємства та держустанови [1].

Завдяки українському філіалу ESRI було розроблено містобудівні кадастри Києва, Одеси, Дніпропетровської області, Сум. Компанія постійно організовує форуми та конференції в різних кутках країни для популяризації нових інформаційних технологій, програмного забезпечення ГІС, і, відповідно, своєї продукції.

Повертаючись до транспортно-навігаційних ГІС, важливо зазначити, що для забезпечення необхідного рівня надійності та безпеки транспортних систем і вирішення широкого кола завдань існує ряд вимог до

© Остроух В., Підлісецька І., Сумишин Г., Яценко О., 2020

геопросторових даних. В першу чергу йдеться про *координатну сумісність з системою GPS*, що полягає у використанні системи координат WGS-84. По-друге, повинна бути достатня *точність визначення координат*, що залежить від класу поставлених завдань. По-третє, треба досягти *сумісності з програмно-технічними засобами навігаційних систем*. По-четверте, дані мають бути *актуальними*, що в свою чергу вимагає систематичного моніторингу стану та оперативного поновлення інформації про дорожньо-транспортну інфраструктуру. І на останок, має бути забезпечена *доступність даних для широкого кола користувачів* за рахунок формування мережі підприємств виробництва і постачання геопросторових даних за доступними цінами [3].

Оскільки використання топографічних карт та ортофотозображень як вихідних даних для картографування об'єктів дорожньої інфраструктури вже давно застаріло і не відповідає сучасному рівню технологій, провідною метою на сьогодні є використання мобільних систем картографування (англ. Mobile Mapping System – MMS). Ними передбачено оснащення рухомого транспортного засобу спеціальною системою камер з вмонтованими GPS-приймачами. Нині найбільш просунутим відкритим сервісом з перегляду вулиць та інших визначних місць, який покриває більшість країн світу, є Google Street View (Перегляд Вулиць Google).

Для проведення різноманітних аналізів і візуалізацій геопросторових даних широко використовується таке багатофункціональне програмне забезпечення як ArcGIS. Воно дозволяє створювати великі бази даних, в яких передбачено створення так званих доменів-обмежень, які дозволяють уникнути небажаних помилок під час введення даних, а також прискорити час у випадках великих обсягів інформації. Також можна

підключати базову карту, яка знаходиться у вільному доступі на потрібну територію (як-от OpenStreetMap чи Google Maps).

У програмному забезпеченні ArcGIS для вирішення завдань, пов'язаних з дорожньою мережею, передбачений *Модуль мережевого аналізу*. Для цього дорожньо-транспортна мережа має являти собою сегментно-вузлову модель, яка представлена у вигляді математичної моделі графа. Сегменти (ділянки) у таких моделях виділяються за такими ознаками, як відрізки між перехрестями, напрям руху, швидкість пересування, тип дорожнього покриття або назва. Вузли репрезентують сполучення двох або більше сегментів, з ними також логічно пов'язуються дані про дозволені маневри (повороти, розвороти або їх заборона тощо).

Модуль Мережевого аналізу, наявний в програмному забезпеченні ArcGIS, дозволяє вирішувати багато прикладних завдань, які зустрічаються в щоденному житті. Основним завданням мережевого аналізу є *визначення найкращого шляху від точки А до точки В*. Тут поняття «найкращий шлях» залежить від обраного імпедансу – величини для розрахунку. В тому випадку, коли імпеданс – це час, то шлях буде найшвидший. Відповідно, якщо імпедансом обрано відстань, то отримаємо найкоротший шлях.

Наприклад, завантаживши дані про пункти надання медичної допомоги та скоєні ДТП, можна вирішити одне з похідних завдань, яке полягає в *розрахунку найближчого пункту обслуговування*. Для наглядності нанесемо розташування лікувальних закладів міста Києва для визначення тих, куди варто доставити постраждалих внаслідок аварії в тому чи іншому районі столиці (рис. 1). В якості підкладки використано картографічні дані сервісу OpenStreetMap.

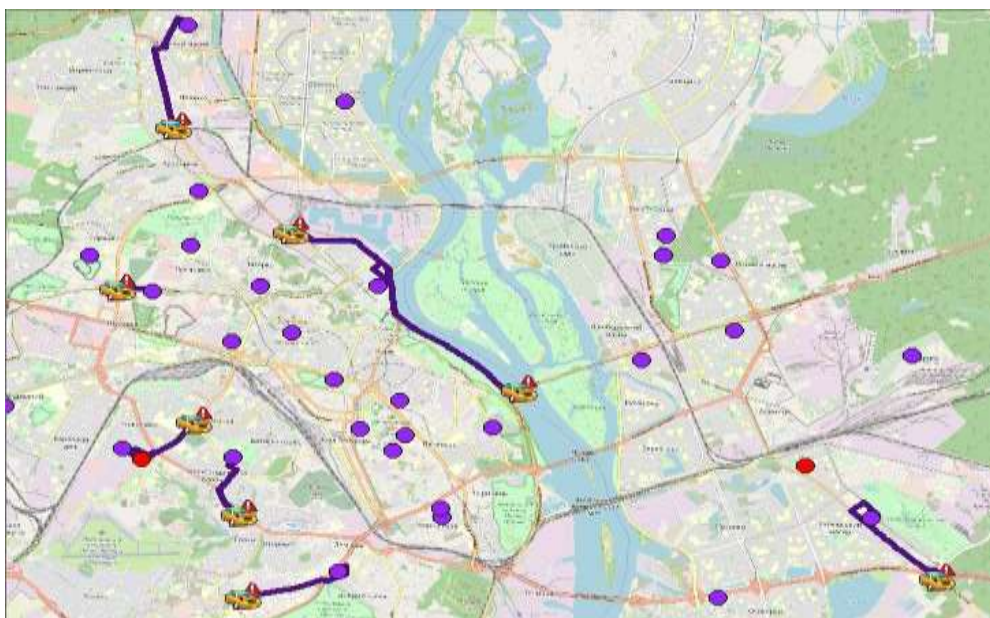


Рис. 1. Знаходження найближчих лікарень (позначено кружечками) до місць ДТП

Доволі часто служби доставки стикаються з проблемою: як обслужити всі замовлення таким чином, щоб сумарна відстань, подолана кур'єрами/транспортними засобами була якнайменша. Крім того, потрібно мінімізувати витрати на експлуатацію транспортних засобів, враховувати їх

місткість, а також часові вікна відвідування клієнтів. Це трудомістке завдання може бути розв'язане із застосуванням програми ArcGIS. Нею передбачено заповнення різних характеристик кожного замовлення, транспортного засобу і депо (складів), з яких

розвозяться товари. Також наявні розширені налаштування для самого аналізу.

На мапі Києва (рис. 2) покажемо шляхи вирішення проблеми маршрутизації. Різнокольоровими лініями позначимо прокладені маршрути для кожного транспортного засобу, які обслуговують замовлення

(кружечки). Цифри показують послідовність виконання замовлень. Сині квадрати означають склади, де розпочинають і завершують робочий день кур'єри, а червоні – замовлення, виконані з невеликою затримкою.

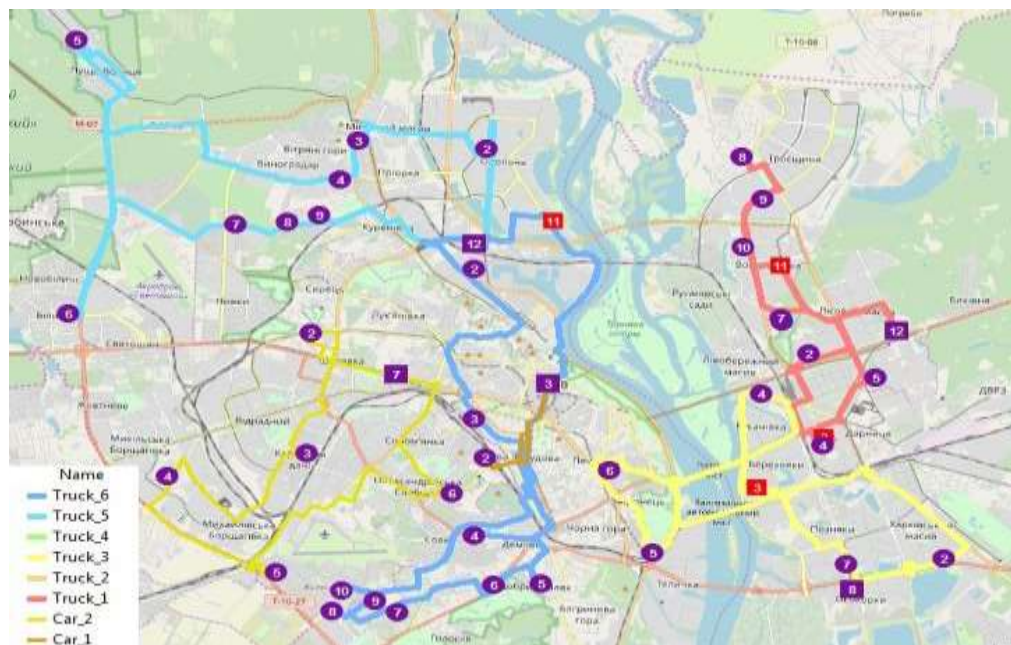


Рис. 2. Приклад вирішення проблеми маршрутизації

Мережевий аналіз також може допомогти у прийнятті непростих рішень, наприклад, закриття частини ресторанів задля оптимізації коштів і підтримки існуючого рівня попиту. Завдання *розміщення-розподілення* полягає у потенційній взаємодії з точками попиту. Вони можуть являти собою людей, котрі є

потенційними відвідувачами. Для проведення цього аналізу позначимо ці точки попиту на мапі Києва, причому рівномірно в кожному мікрорайоні, а також в місцях великого скупчення людей (рис. 3). У результаті можемо визначити ресторани, які швидше за все будуть рентабельними, а які доцільно закрити.

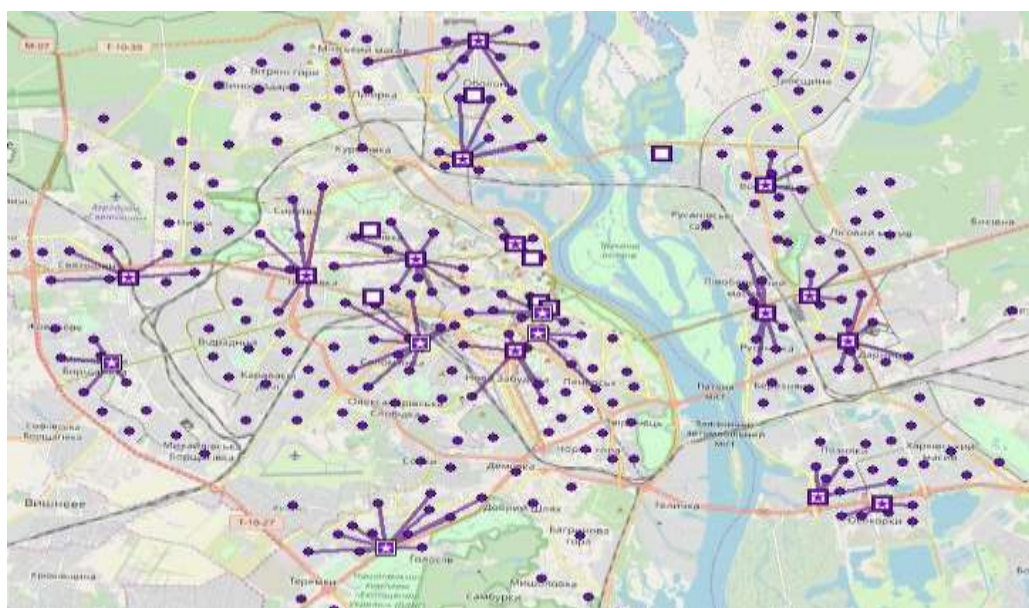


Рис. 3. Результат аналізу. Зірочкою позначено ресторани, які доцільно залишити, а без зірочки – закрити

За допомогою ArcGIS можна проводити різні аналізи геопросторових даних. Аналіз накладання дозволяє

створювати карти, які відображають придатність території до реалізації певної мети або щодо

досліджуваного питання. Наприклад, щоб з'ясувати, де в місті Києві найкраще (найоптимальніше) жити, потрібно не тільки чітко визначити критерії для оцінки, а також з'ясувати важливість кожного з цих критеріїв (подано у відсотках):

- близькість до метро (20%);
- віддаленість від шкідливих виробництв (20%);
- близькість до парків і зон відпочинку (15%);

- наявність поруч дитсадків або шкіл (15%);
- наявність поблизу торговельно-розважальної інфраструктури (10%);
- рівень злочинності (10%);
- близькість до медичних закладів (5%);
- близькість до пожежних станцій (5%).

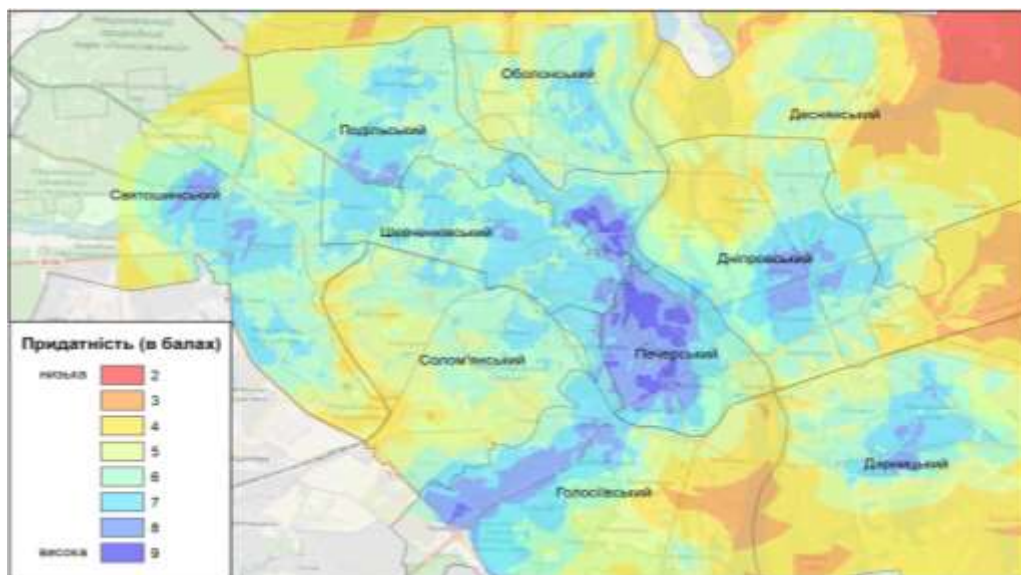


Рис. 4. Результат аналізу зваженого накладання. Вищий бал означає більшу кількість сприятливих факторів, які сходяться в певному місці

Отже, найкращі умови для проживання фіксуємо в Печерському районі, на Подолі та в Голосіївському районі.

Геоінформаційні системи особливо стають в нагоді під час стихійних лих, катастроф і пандемій, в тому числі таких як COVID-19. Так, ГІС здатні постачати інформацію про поширення коронавірусної інфекції в режимі реального часу для урядів держав, на яких лежить величезна відповідальність за своєчасне впровадження карантинних заходів.

Зокрема, дослідниками з Університету Джона Хопкінса (штат Меріленд, США) розроблена онлайн-платформа, яка в режимі реального часу фіксує і відображає по кожній країні число зареєстрованих хворих, кількість летальних випадків, кількість тих, хто одужав, та інші статистичні дані [5].

За допомогою ГІС можна моделювати розвиток ситуації і передбачати, які наступні регіони будуть охоплені епідемією. Крім того, ГІС можуть слугувати цінним інструментом для прийняття креативних рішень і вжиття конкретних заходів на місцях, а саме:

- визначати, де мешкають найвразливіші групи населення;
- досліджувати мобільність населення;
- збирати дані про кількість лікарняних ліжок в шпиталях;
- здійснювати пошук і вибір альтернативних місць лікування важкохворих;
- інформувати про ситуацію щодо критично важливого обладнання (апарати штучної вентиляції легень);
- слідкувати за персоналом лікарень у режимі онлайн;

– розподіляти стратегічні запаси індивідуального захисту [6].

Висновки і перспективи. ГІС неодноразово продемонстрували здатність протистояти різноманітним викликам, які постають перед людством в процесі розвитку інформаційного суспільства. Цій темі присвячено чимало наукових досліджень і публікацій в зарубіжних і вітчизняних ЗМІ. Головною проблемою для України є брак якісних геопросторових даних і цілеспрямованої державної політики з розбудови ринку геоінформаційних послуг.

Сьогодні ГІС-технології використовують всюди, починаючи від бізнесу і закінчуючи державними стратегічними підприємствами. Розвитку ринку геоінформаційних послуг в першу чергу сприяє гостра потреба в ефективному управлінні і прийнятті оптимальних рішень.

В умовах глобальних викликів людство все більше потребуватиме застосування креативних ГІС-рішень, покладаючись на подальший розвиток комп'ютерної техніки і програмного забезпечення. А на цьому етапі, застосовуючи ГІС, уряди світових держав мають розробити оптимальний механізм виходу з карантину і поступового повернення до звичного життя, при цьому мінімізуючи ризики нових заражень і ще більших економічних втрат.

Список використаних джерел:

1. О нас. ESRI Ukraine. URL: <http://www.esri.ua/sarticle.php?id=8> (дата звернення: 12.03.2020)
2. Шипулін В.Д. Основні принципи геоінформаційних систем: навч. посібник. Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Харків: ХНАМГ, 2010. 313 с.
3. Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Дроздівський О.П. Геоінформаційне забезпечення навігації наземного транспорту. Науково дослідний інститут геодезії і картографії, Київ. 2007.

4. Feltynowski M., 2012. System informacji przestrzennej jako narzędzie podejmowania decyzji w gminach – badania wśród pracowników urzędów miast łódzkiego obszaru metropolitalnego. Acta. Sci. Pol. Geod. Descr. Terr., 11 (1), 29–38.
5. GIS and COVID-19. Kapcite. URL: <https://kapcite.com/gis/gis-and-covid-19/> (дата звернення: 15.05.2020).
6. Location Intelligence Enhances COVID-19 Collaboration – ArcGIS Blog. URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-pro/analytics/location-intelligence-enhances-covid-19-collaboration/> (дата звернення: 10.05.2020).
7. Marek Baranowski. Rozwój systemów informacji geograficznej i ich zastosowań w pracach instytutu geodezji i kartografii. Instytut Geodezji i

- Kartografii. Wydanie jubileuszowe. URL: http://bc.igik.edu.pl/Content/484/SM+nr+20_wyd+jub_8.pdf (дата звернення: 15.05.2020).
8. The Top 6 Industries for GIS – USC GIS Online. URL: <https://gis.usc.edu/blog/the-6-top-industries-for-gis/> (дата звернення: 12.03.2020).
9. Zaawansowana optymalizacja tras – praktyczne przykłady z rynku. URL: <http://blog.emapa.pl/> (дата звернення: 12.04.2020).

Надійшла до редколегії 28.04.2020

V.Ostroukh, candidate of geographical sciences, docent, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv
 H.Sumyshyn, student of the 4th year of study, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv
 I.Pidlisetska, candidate of geographical sciences, docent, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv
 O.Yatsenko, assistant, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

GIS MODELING DURING MAKING IMPORTANT DECISIONS USING SPATIAL ANALYSIS

The article substantiates the importance of GIS modeling to facilitate the workflow and for more effective decision-making, as well as analyzes the geospatial data to solve some problems when using ArcGIS software. Nowadays, GIS technologies are used in many spheres of life-support and are improved work efficiency. The processes of globalization in the modern world encourage to quality and effective management of various spheres of our lives. This is especially the case as regards the introduction of computer technology, as well as the global Internet.

The importance of GIS modeling is substantiated in order to facilitate the workflow and increase the effectivity of important decisions. Researches and publications on GIS and their implementation are considered, also examples of successful problem solving and project implementation using GIS analysis are given. Using network analysis (graph theory), modeling of some common problems and their solutions was performed, on the example of the road network of the city of Kyiv.

The solution of common problems related to the road network was studied, as a result of which were identified the nearest hospitals to the places of accident, were found solutions to the routing problem and were selected service points from the list for abbreviations. The considered experience of using geographic information systems together with conducting own research confirms the opinion that in the modern world which is full of challenges, GIS is a highly technological effective tool for analyzing of large amounts of geographic information and making difficult decisions.

Key words: geographic information system, network analysis, overlay analysis, digital map