

УДК 574+509.3

Назарук М. М., Шолок І. В.

Львівський національний університет імені Івана Франка

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ УРБОЕКОСИСТЕМИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ МІСТА ЛЬВОВА

Розглянуто можливості та перспективи використання геоінформаційних методів для картографування та моделювання просторової інтерактивної інформації для дослідження соціально-екологічної ситуації у великих містах, зокрема, у м. Львові.

Ключові слова: ГІС, картографування, Львів, моделювання, екологічна ситуація.

Актуальною проблемою розвитку сучасного суспільства є постійний ріст антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Це спричинено невпинним розвитком нових технологій, інтенсивною індустріалізацією, збільшенням ролі міст у житті країн та регіонів, що

© М. М. Назарук, І. В. Шолок

зумовлює відчутний вплив як на глобальному, так і на регіональному та локальному рівнях на природні екосистеми і призводить до незворотних змін у довкіллі. Внаслідок цього, утворені соціоекосистеми стають напруженими динамічними системами, розвиток та функціонування яких, в більшій мірі, забезпечується суспільним розвитком, а роль природного середовища відходить на другий план. Такі соціоекосистеми характеризуються значною кількістю різноманітних показників. Тому, щоб скласти уявлення та спрогнозувати розвиток урбооекосистеми міста потрібно проаналізувати великі масиви статистичної та візуальної інформації. Незамінним у таких дослідженнях є розмаїття можливостей геоінформаційних систем у дослідженні, аналізі, просторовому моделюванні та геообробці стану навколишнього середовища.

Предметом дослідження даної праці виступають геоінформаційні системи як важливий інструмент застосування в екологічній науці, а саме в дослідженнях антропогенного навантаження на навколишнє середовище, зокрема на соціоекосистему міста Львова, її просторово-часової динаміки під впливом людської діяльності.

Мета дослідження – відобразити важливість та актуальність застосування сучасних геоінформаційних систем в дослідженнях антропогенного навантаження на довкілля, зокрема у дослідженні просторової та часової динаміки забруднення навколишнього середовища міста Львова, вдосконалення методики такого роду досліджень, з використанням геоінформаційних систем. Важливою ціллю даної роботи є змоделювати та спрогнозувати динаміку розвитку соціоекосистеми міста Львова. Окрім цього, особливо важливим є розкрити можливості та перспективи використання геоінформаційних методів, таких як створення тематичних баз даних, аналізу та синтезу накопиченої інформації, методів подальшого картографування та моделювання просторової інтерактивної інформації, показати можливості їх використання для дослідження великих міст.

Одною з основних цілей проведеної роботи була розробка методології застосування ГІС у дослідженні міст та антропогенних об'єктів. У загальному вона така ж, як і у дослідженні суто природних ділянок, проте відрізняється масивами введеної інформації та поставленими кінцевими цілями. Основою таких досліджень є статистичний, картографічний, дистанційний методи, а також методи аналізу, синтезу та моделювання.

Геоінформаційні системи, як прикладний засіб використання в наукових дослідженнях, є відносно новою технологією, їхні широкі можливості ще розкриті не повністю, зокрема і в галузі екологічних досліджень. Особливо актуальним це є для нашого регіону, в яких, нові технології такого роду, запроваджуються з надзвичайно повільними темпами, можливо, внаслідок недостатнього фінансування,

недостатньої уніфікованості інформаційної бази та інших факторів. Тому, актуальність роботи полягає в тому, що для Львова вперше, в середовищі геоінформаційних систем, була розроблена інтерактивна картографічна база даних з візуалізацією та оверлейним аналізом показників забруднення навколишнього середовища міста, з можливістю її подальшого інформаційного наповнення та удосконалення.

У загальному, екологічна ГІС складається з трьох основних складових – просторово-координованих даних, системи управління базами даних та математичних моделей. При можливості вичерпного інформаційного забезпечення, еколого-географічна база повинна складатися з реєстрів забруднювачів, кадастрів природних ресурсів та тематичних карт антропогенного впливу та забруднення. У випадку дослідження соціоекологічного становища міста Львова, модельована геоінформаційна система повинна бути забезпеченою якісною картографічною основою, з виділенням зон житлової та промислової забудови, зеленої зони та нанесеними дорогами; статистичною інформацією про демографічну ситуацію у місті по окремих районах; інформацією про стан забруднення навколишнього середовища міста – рівень вмісту шкідливих речовин у атмосферному повітрі, водах та ґрунтах у межах міста та його околиць, інформацією про основні джерела забруднення, та інші дані такого типу.

Методологія застосування геоінформаційних систем у дослідженні урбоєкосистеми міста Львова впливає із обширної функціональної бази програмного забезпечення, забезпечення вихідною інформацією, та поставлених цілей щодо кінцевого результату. В основному, створення ГІС як для будь-якої території, так і для Львова, проходить у декілька основних етапів. В першу чергу, це збір, накопичення та систематизація різного роду інформації. На другому етапі основною ціллю є введення накопиченої інформації у програмне середовище ГІС, у вигляді растрових та векторних картографічних матеріалів, статистичних таблиць і ін. На цьому ж етапі проводиться уніфікація бази даних, векторизація растрових зображень, поділ її на окремі шари, надання атрибутів та географічної прив'язки картографічним матеріалам та поєднання візуальної інформації з статистичними даними. На 3-ьому етапі створення геоінформаційної системи відбувається основний аналіз та синтез введеної інформації, за допомогою інтегрованих аналітичних функцій програмного середовища ГІС, та на основі отриманих результатів, подальше цифрове моделювання нових картографічних матеріалів та даних. Завершальним, 4-им етапом, є оформлення отриманої географічної бази даних, створення цифрових карт та збірників, підготовка окремих карт до друку.

Беззаперечно, окрему увагу потрібно звернути на методи аналізу та синтезу геоінформаційних систем, так як одною з основних переваг ГІС є можливість застосування до даних просторових операторів,

для отримання нової інформації. Для прикладу, основні аналітичні можливості програмного середовища ArcGis, виконують програмні пакети Spatial Analyst, та якщо мова іде про об'ємну візуалізацію – 3D Analyst. Вони надають можливість знайти взаємовідношення між різними шарами карти, провести комплексний аналіз картографічних матеріалів з присвоєними їм атрибутами, і на основі цього змоделювати потрібну інформацію. Що стосується конкретного застосування методів ГІС аналізу та моделювання у дослідженні соціоекосистеми м. Львова, основною ціллю є аналіз поширення забруднення урбооекосистеми міста, пошук взаємозв'язку забруднення з інтенсивністю руху автотранспорту та розвитком промисловості, демографічною ситуацією та іншими факторами.

Проте напрочуд складно накопичити достовірну інформаційну базу для такої системи, так як всі дані які мають інтегруватися у дану систему, повинні відповідати певним стандартам, систематичністю та однорідністю для можливості взаємодії між різними масивами інформації. Що стосується саме Львова, багатьох даних просто не існує, особливо що стосується забруднення навколишнього середовища.

В межах даної роботи був розроблений проект в середовищі ГІС, з метою створення, дослідження та моделювання інтерактивної картографічної бази даних соціоекологічного стану м. Львова. Так як проект є досить масштабним та трудомістким, особливо в плані збору та накопичення потрібної статистичної інформації, всі операції виконувались поетапно, інтерактивна карта була доповнена новими елементами, деякі, вже раніше внесені, геопросторові дані були оновлені та змінені.

Викиди різноманітних шкідливих домішок в навколишнє середовище пересувними джерелами забруднення залишається напрочуд актуальною проблемою для м. Львова, адже більше 95% забруднення повітря у місті припадає саме на викиди автотранспорту. Для вирішення даної проблеми, було накопичено та проаналізовано інформаційну базу, з достатнім набором даних, які б безпосередньо стосувались досліджуваної проблеми – концентрації забруднюючої речовини у різних точках міста, в розрізі декількох років, інтенсивність та особливості руху автотранспорту в межах досліджуваної території та інші дані. Наступними діями були оцифрування та створення бази даних на основі накопиченої інформації, що в подальшому надало можливості відобразити накопичену інформацію картографічними методами, а також змоделювати поширення забруднення у межах міста. Пришвидшити та деталізувати цей процес допомогли методи картографування, аналізу, синтезу та моделювання у програмному середовищі геоінформаційних систем, а саме в ArcGis від компанії ESRI, з використанням програмного додатку Spatial Analyst, а також, для кращої наочності, 3D Analyst.

Працівники хімічної лабораторії КП "Адміністративно-технічне управління" здійснювали систематичний контроль загазованості перехресть та вулиць Львова викидами від автотранспорту. Дані аналізів повітря, а також насиченості перехресть транспортом, які були отримані за останні 4 роки на найбільш напружених перехрестях центру міста, були використані у моделюванні карти та бази даних в середовищі ГІС. Впродовж останніх років досліджень найбільше перевищення ГДК спостерігалось за діоксидом вуглецю, який в середньому перевищував норму в 3 рази. Саме на основі даних з 15 перехресть з перевищенням вмісту ГДК і велися роботи, створення бази даних та супутніх карт. Ці дані були доповненні власними дослідженнями концентрації автотранспорту по основних вулицях центру міста, а також рівнем тенденції до виникнення автомобільних заторів.

Як доповнення до даної геоінформаційної бази даних, для визначення різних аспектів забруднення навколишнього середовища, а також комфорту проживання та господарювання в межах центральної частини міста, була використана інформація по радіоактивному забрудненню центральної частини м. Львова, яка виражена у вигляді середнього рівня гамма-випромінювання (мкР/год) та рівня бета-потоків (см-2Чхв-1). В даному випадку були використані дані зібрані та проаналізовані асист. Є.А. Івановим, канд. геогр. наук, Львівського НУ ім. Івана Франка. [3] Також, це дало змогу простежити загальні риси поширення ареалів радіаційного забруднення у центральній частині міста.

Для створення будь-якої геоінформаційної бази та відображення досліджуваної інформації, потрібна топографічна основа. Для цього була використана растрова карта Львова, яка, для полегшення роботи з нею, частково була переведена у векторну форму, та за допомогою функції Georeferencing внесена у програмна середовище, після чого також було оцифровано основні вулиці в межах даної території для подальшої їх класифікації, зелену зону міста та інші об'єкти. Оцифрування картографічної основи дало змогу до подальшого створення геоінформаційної бази даних на основі статистичних матеріалів – показників концентрації діоксиду вуглецю в повітрі центру міста, інтенсивності руху транспортних засобів (одиниць/годину) на вулицях та найбільших перехрестях м. Львова, тенденції до виникнення заторів (що найбільше впливає на забруднення атмосферного повітря діоксидом вуглецю), рівня радіоактивного забруднення. В процесі, всі ці дані були уніфіковані та інтегровані в програмне середовище ArcGis.

Щоб відобразити ці дані на карті, в програмному середовищі ArcGis, був використаний додаток Spatial Analyst, який надає широкий спектр потужних засобів аналізу і моделювання, які допомагають нам створювати, картографувати і в подальшому аналізувати растрові дані,

до яких входять і звичайні карти. Одною із можливостей Spatial Analyst є геостатичне моделювання, яке полягає в побудові (моделювання) безперервних поверхонь, на основі попередньо введених масивів точкових даних і таким чином, оцінці (прогнозу) значень змінної в точках, у яких дані не визначалася (не спостерігалася, не вимірювалися). В основі цього методу лежить просторова інтерполяція, яка може здійснюватись в даному випадку 3-ьомі способами – методом обернено зважених відстаней, методом сплайну та методом крекінгу. Найбільш вдалим в даному випадку є саме метод сплайну, який розраховує значення концентрацій для всієї карти на основі математичної функції, що мінімізує кривизну поверхні, обчислюючи найбільш рівну поверхню, що точно проходить через всі точки вимірів. Потрібно відмітити що існує 2 види сплайну – регуляризація і натягнення. Другий спосіб є більш детальним, так як він міняє жорсткість поверхні в залежності від характеру модельованого явища. Він створює менш гладку поверхню, значення в якій ближче до рамок діапазону значень вимірів [5]. Отож, застосувавши метод інтерполяції сплайну, на основі набору даних концентрації діоксиду вуглецю на 15 досліджуваних пунктах спостереження, ми отримали карти поширення цієї речовини в атмосферному повітрі в межах центру міста і, для більшої наочності, щоб більш чітко виділити зони різних рівнів забруднення, нанесли на карту ізолінії кожні 2 мг/м³. Цим же методом були розроблені карти на підставі даних інтенсивності руху автотранспорту на даних перехрестях, а також дві карти на основі показників середнього рівня гамма-випромінювання та рівня бета-потоків, де були виділені різні групи території, в залежності від значень вищенаведених даних.

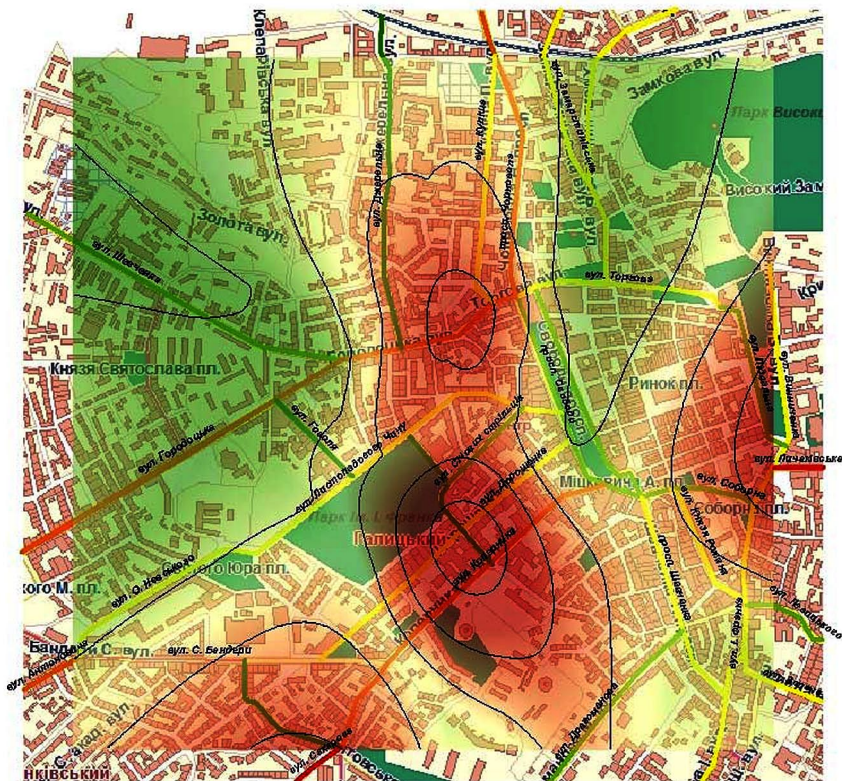
Окрім цього, методом градації кольорів, дороги центральної частини міста були класифіковані на 4 категорії, відповідно до можливості утворення заторів, та на 5 категорій за інтенсивністю проїжджого автотранспорту, що в подальшому, дало змогу більш наглядно проаналізувати взаємозалежності між концентрацією діоксиду вуглецю в атмосферному повітрі, кількістю автотранспорту та частотою виникнення заторів.

Як вже було зазначено, геоінформаційні системи володіють потужним арсеналом аналітичних цифрових методів, які допомагають в автоматичному режимі співставити, синтезувати, проаналізувати різноманітну як картографічну, так і статистичну інформацію. Внесення всіх вищенаведених даних у середовище геоінформаційної системи та створення на їх основі цифрових картографічних матеріалів, дало змогу для подальшого геоінформаційного аналізу отриманих матеріалів. Саме на цьому етапі, з залученням аналітичних та синтезуючих можливостей програмного середовища, проявляються основні плюси застосування геоінформаційних технологій, для такого роду досліджень.

Так, за допомогою функцій Cell Statistics та Raster Calculator були співставлені та проаналізовані растри отриманих карт, внаслідок чого були отримані нові карти середнього значення та максимальних концентрацій діоксиду вуглецю за останні 4 роки (рис. 1).

В результаті отримані карти, дали змогу оцінити загальну ситуацію з забрудненням діоксидом вуглецю повітря центру міста Львова, порівняти карти поширення забруднення за останні 4 роки за допомогою процедури оверлею, тобто їх накладання, а також з картами інтенсивності трафіку, знайти і візуалізувати критичні точки і зони максимальних та мінімальних концентрацій, а також середні дані за 2006-2009 роки (середнє значення концентрації за 4 роки по досліджуваній території – 7,6 мг/м³). Бачимо що зона найбільшої концентрації діоксиду вуглецю у 2009 році кардинально змістилася. Так, в попередні роки осередок концентрації CO² знаходився в районі перехрестя просп. Чорновола, просп. Свободи та вул. Городоцької, де вона досягала критичного рівня в 12 мг/м³. Зона ж з мінімальним забрудненням у межах території дослідження у всі роки майже незмінна – це район поблизу Площі ринок та парку Високий Замок. Це легко пояснити тим, що транспортний рух в межах площі Ринок заборонений, відповідно і загазованість невелика, і представлена тільки домішками перенесеними повітряними масами. Навколо парку ім. Івана Франка, транспортний рух також не інтенсивний, а автомобільні корки утворюються рідко, та і сам парк виступає як фільтр повітря, тому і показники концентрації діоксиду вуглецю тут невеликі.

Якщо порівняти дані та карти концентрацій CO² та інтенсивності руху автотранспорту в розрізі вулиць центральної частини Львова, виражену в одиницях за годину, бачимо, що чітка взаємозалежність між цими двома факторами відсутня, хоча б здавалося якраз рівень діоксиду вуглецю в повітрі прямо залежить від кількості автомобілів. Проте вагому роль тут відіграє той факт, що, численні обстеження та експерименти довели, що у карбюраторних двигунів в період уповільнення руху, тобто під час гальмування двигуном, виділяється велика кількість вуглеводневих сполук. Максимальна концентрація діоксиду вуглецю спостерігається при роботі двигуна на холостому ході, які в 6 раз більші, ніж при русі зі швидкістю 60 км/год. Тобто найбільше забруднюючих речовин в повітря викидається при утворенні автомобільних корків, що є досить звичним явищем для Львова. Цим же ж можна пояснити чому за даними 2009 року середня концентрація CO² на вищезгаданому перехресті знизилась до 8-10 мг/м³. Причиною цього є ведення впродовж року ремонтних робіт на цій ділянці, відповідно інтенсивність руху автотранспорту тут значно знизилась, а також після закінчення робіт ці вулиці були розширенні, та була створена транспортна розв'язка яка передбачає зменшення утворення корків на цьому перехресті. З іншого боку, поки ця важлива транспортна



Максимальна концентрація діоксиду вуглецю за 2006-2009 рр.



Рис. 1. Класифікація доріг за концентрацією автотранспорту та приклад застосування функції Cell statistic для моделювання карти максимальної концентрації діоксиду вуглецю за 4-ьох річний період

артерія була перекрита, збільшилось транспортне навантаження на інші ділянки центральної частини міста, а саме найбільші концентрації діоксиду вуглеці почали спостерігатись навколо перехрестя вул. Дорошенка – вул. Словацького, де відповідно досить часто утворюються затори в час пік. Зараз на вулицях Коперника та Дорошенка був запроваджений односторонній рух, це мало б трохи вирішити цю проблему, проте і це не допомогло повністю зарадити утворенню заторів на цих ділянках.

Що стосується карт радіаційного забруднення Львова, бачимо, що порівняно значний рівень забруднення радіонуклідами урбокосистеми спостерігається в центральній частині міста, що прилягає до головного корпусу Львівського НУ та парку ім. Івана Франка. Гамма-фон у багатьох місцях тут перевищує 15–20 мкР/год., а значення густини бета-потoku – 3,0–7,5 см-2Чхв-1. Підвищення показників радіаційного забруднення на даній території можна пояснити поверхневим зносом та накопиченням у пониженних ділянках урбосистем радіонуклідів автотранспортом. У східній, віддаленій від центра, частині Львова спостерігається зниження показників радіаційного забруднення: гамма-випромінювання до 4–7 мкР/год, а максимального до 12 мкР/год., а бета-потoku – 0,5–1,5 см-2Чхв-1. Подібна радіаційна ситуація властива для урбосистем в околицях Високого замку. В загальному, можна сказати, що основним джерелом радіаційного забруднення є автотранспорт, який являється найбільшим джерелом поступлення іонізуючого випромінювання у докiлля Львова. Відповідно, найнижчий радіаційний фон спостерігається в зеленій зоні – парку Високий замок. Переконалися у цьому можна, також порівнявши карти гамма-фону та рівня бета-потoku з спроектованими картами концентрації оксиду вуглецю в повітрі, інтенсивності автотранспорту та можливістю виникнення заторів.

Для наглядності було змодельовані приклади об'ємних 3D карт, для кращої візуалізації зон максимальних та мінімальних концентрацій діоксиду вуглецю, що дає змогу краще сприйати інформацію пересічному користувачу.

В результаті всіх цих дій – оцифрування даних, векторизація карт, аналізування та моделювання на підставі статистичних даних нових растрових карт, було отримано своєрідну тематичну базу даних, в якій інтегровані як статистичні і цифрові дані, так і візуалізаційне їх відтворення на картах та 3D зображеннях. Цю базу даних забруднення атмосферного повітря м. Львова автотранспортом надалі можна використовувати для подальших досліджень, розширювати її додаючи свіжі дані, статистичну інформацію про забруднення атмосфери іншими елементами, моделі руху автотранспорту та переміщення повітряних мас, величина викидів стаціонарними джерелами забруднення, в подальшому порівнюючи ці дані, знаходячи взаємозалежності та причинно-наслідкові зв'язки.

Основними перевагами такої бази даних є можливість оперативного та навіть автоматичного оновлення інформації у ній, можливість швидкого їх математичного та картографічного аналізу, створення нових карт на основі цих даних, та їх подальшого автоматичного та ручного порівняння, використовуючи методи оверлею, алгебри карт та візуальної статистики, завдяки чому можна робити оперативні висновки, тобто в цьому випадку проявляється функція геоінформаційних систем в підтримці прийняття рішень у плануванні, проектуванні та управлінні. Беззаперечно зручною є можливість швидкого пошуку будь-якої інформації в межах бази даних та навігація між картами та її шарами. І в кінцевому результаті, при завершенні створенні карт, отриманні запитуваних даних та досягненні потрібних результатів, є можливість зручного та оперативного підготовки карт, для подальшого видання цих карт та цілих атласів, на основі компонування різних даних цієї інформаційної системи, як в цифровому вигляді, так і роздруку їх в різних форматах зручному для користувача.

Рецензент – кандидат географічних наук, молодший науковий співробітник А. В. Орешенко

Література:

1. *Демерс. М.* – Географические информационные системы. Основы. – Дата+, 1999р.
2. *Ямелинець Т.С.* – Застосування географічних інформаційних систем у ґрунтознавстві: Навчальний посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008 р.
3. *Іванов Є.А.* – Радіоекологічні дослідження: Навч. посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2004
4. *Круглов І.С.* – Міська ландшафтно-екологічна інформаційна система [Стаття] / І.С. Круглов // Укр. геогр. журнал – 1997 р. – №3 – ст. 41-66
5. *ArcGis 9/ Spatial Analyst* Руководство пользователя. – ESRI, DATA + ltd, 2001 р, 216 ст.

М. М. Назарук, И. В. Шолок

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УРБООКосИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА ЛЬВОВА

Рассмотрены возможности и перспективы использования геоинформационных методов для картографирования и моделирования пространственной интерактивной информации для исследования социально-экологической ситуации в крупных городах, в частности, во

Львове.

Ключевые слова: ГИС, картографирование, Львов, моделирование, экологическая ситуация.

M. M. Nazaruk, I. V. Sholok

**GEOINFORMATION ANALYSIS AND MODELING POLLUTION
IN THE URBAN ECOSYSTEM OF LVIV CITY CENTR**

It was reviewed the possibilities and prospects of using GIS methods for mapping and spatial modeling of interactive media for the researching of social and ecological situation in large cities, particularly in Lviv.

Keywords: GIS, mapping, Lvov, modeling, ecological situation.

Надійшла до редакції 16 листопада 2011 р.