

6. Зубарев А. Э. Обработка стереопары космических изображений сенсора GeoEye-1 [Электронный ресурс] /А. Э. Зубарев//Режим доступа: www.racurs.ru/www_download/articles/Test_GE-1.pdf

7. Изображения Земли из космоса: примеры применения: научно-популярное издание. — М.: ООО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «СКАНЭКС», 2005. — 100 с.: ил.

8. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические снимки для карт XXI века/Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова//Картография 21 века: теория, методы, практика: Докл. 2 Всеросс. науч. конф. по картографии, посвящ. памяти А. А. Лютого. М.: Изд-во Ин-та геогр. РАН. — С. 272 – 278.

9. Лялько В. И. Состояние и перспективы развития дистанционных методов исследования Земли в Украине/В. И. Лялько, М. А. Попов, В. П. Зубко, А. Д. Рябоконтенко//Ученые записки ТНУ. Серия: География, 2004. — Т. 17 (56). — № 2. — С. 64 – 71.

10. Мышляев В. А. Изобразительные свойства космических снимков и их влияние на масштаб создаваемых ортофотопланов/В. А. Мышляев, Г. Б. Воронов, Г. А. Шабанов//Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології: Збірник матеріалів XVI Міжнародного науково-технічного симпозиуму (12 – 17 вересня 2011 р., м. Алушта, АР Крим). — 2011. — С. 133.

11. Титаров П. С. Практические аспекты фотограмметрической обработки сканерных космических снимков высокого разрешения/П. С. Титаров//Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, 2004. — № 2 (45)-4 (46).

УДК 004.9 + 004.451 + 911.3 + 502.22

С. В. Костриков*, Д. Л. Кулаков**, К. Ю. Сегида*

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

**Компанія iDATA Solutions (м. Оттава, Канада)

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІС ДЛЯ LiDAR-ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ В ЦІЛЯХ АНАЛІЗУ УРБОГЕОСИСТЕМ

Стаття присвячена поданню концептуального методологічного підходу щодо застосування ГІС-засобів геообробки, моделювання і візуалізації даних на підставі LiDAR-технології дистанційного зондування і сканування. Даний підхід застосовується для аналізу певних аспектів динаміки урбогеосистем. Більш детально розглядаються окремі складові цього підходу, ГІС-інтерфейс та функціональність спеціалізованого програмного забезпечення щодо аналізу урбогеосистем. Окремо обговорюються результати аналізу цих сутностей через LiDAR-технологію та ГІС-засоби. Доводиться ряд очевидних переваг імплементації поданого підходу для вирішення задач муніципального менеджменту.

Ключові слова: ГІС, дистанційне лазерне зондування та сканування, інтерфейс та функціональність програмного забезпечення, урбогеосистема, програмно-апаратний комплекс, «хмари точок» лазерної інформації, класифікація підстильної поверхні.

S. Kostrikov, D. Kulakov, K. Segida

GIS-SOFTWARE FOR THE LIDAR-TECHNOLOGY REMOTE SENSING IN URBOSYSTEM ANALYSIS RESEARCH PURPOSES

The paper recognizes the conceptual research approach with respect to GIS-tools of data geoprocessing, modeling and visualizing on the base of the LiDAR-technology remote sensing. The given approach is employed for some feature analysis of the urban geosystem dynamics. Some of this approach constituents, GIS-interface and specialized software functionality are considered more in details with the mentioned respect of urban geosystem analysis. In addition the analysis results obtained through LiDAR-technology and GIS-tools are thoroughly examined. Several evident advantages of this research concept are proved in this study due to municipal management challenges.

Key words: GIS, LiDAR-technology, software interface and functionality, urbogeosystem, software and hard-ware entity, point cloud of laser data, underlying surface classification.

С. В. Костриков, Д. Л. Кулаков, Е. Ю. Сегида

ПРОГРАМНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГИС ДЛЯ LiDAR-ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ЦЕЛЯХ АНАЛИЗА УРБОГЕОСИСТЕМ

Статья посвящена концептуальному методологическому подходу, касающемуся применения ГИС для геообработки, моделирования и визуализации данных на основе LiDAR-технологии дистанционного зондирования и сканирования. Этот подход применяется для анализа определенных аспектов динамики урбогеосистем. Более детально рассматриваются отдельные составляющие данного исследовательского подхода, ГИС-интерфейс и функциональность специализированного программного обеспечения. Отдельно обсуждаются результаты анализа урбогеосистем с помощью лазерного сканирования и средств ГИС. Доказывается ряд очевидных преимуществ имплементации изложенного подхода для решения задач муниципального менеджмента.

Ключевые слова: ГИС, дистанционное лазерное зондирование и сканирование, интерфейс и функциональность программного обеспечения, урбогеосистема, программно-аппаратный комплекс, «облака точек» лазерной информации, классификация подстилающей поверхности

Вступ. Відомо, що LiDAR (*Light Induced, Detection and Ranging* — англ.) — це технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відображення світла та його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах. Така технологія з'явилася ще в 60 рр. минулого сторіччя, однак ефективно через ДДЗ та через програмне забезпечення ГІС використовується лише в останнє десятиріччя. LiDAR взагалі є, як мінімум, активним далекоміром оптичного діапазону. Тобто, це активна сенсорна система, яка посилає дружній людському оку промінь із частотою випромінювання в межах інтервалу від 10 до 70 тис. сигналів у секунду, звичайно за синусоїдою, у напрямку, перпендикулярному до руху носія скануючого пристрою. Скануючі лайдар-засоби в системах машинного зору формують двовимірну або тривимірну картину навколишнього простору, що вдало корегується із можливостями ГІС-платформ надавати тривимірну візуалізацію у вигляді так званої 3D-Сцени [1].

Технологія дистанційного зондування LiDAR є дійсно надскладною предметною галуззю, що передбачає як досить строгий методологічний підхід, так і ретельну практичну імплементацію переважно, на що вже вказувалося, через ГІС-засоби. Головною ціллю застосування вказаної технології є генерація дуже точних цифрових моделей рельєфу (ЦМР, DEM — англ.) у вигляді, як правило, «грід»-матриць надвисокої роздільної здатності, через спеціальні засоби як програмного, так і апаратного забезпечення [2].

Вихідні передумови. Ми вважаємо, що головне місце в наших предметних дослідженнях із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення LiDAR і відповідної ГІС-платформи займає інтеграція різноманітних даних із наступною візуалізацією проміжних або кінцевих результатів їх обробки. Зокрема, у предметній галузі аналізу урбогеосистем і визначення морфології/динаміки архітектурних змін забудов певного міста дуже важливим для досягнення наочних результатів є визначення так званих патернів (певних класів) просторового розповсюдження різноманітних архітектурних форм та міської інфраструктури. У вказаному відношенні зрозуміло, що великі обсяги як первинних, так і похідних даних без застосування засобів ГІС важко обробляти та майже неможливо ефективно аналізувати. Принаймні, фундаментальні роботи минулого сторіччя, які фактично започаткували сучасні урбаністичні дослідження (наприклад [3]), досягли б ще більш видатних результатів із застосуванням сучасного програмного та апаратного забезпечення.

Метою цієї статті є подання і обговорення оригінального концептуального підходу дослідження урбогеосистем із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення ГІС. Останнє передбачає обробку і аналіз вхідних даних, отриманих через LiDAR-засоби дистанційного зондування та сканування.

Виклад основного матеріалу. *Концептуальний підхід до аналізу урбогеосистем на підставі ГІС.* За відомим в західній суспільно-географічній літературі визначенням в найпростішому розумінні урбогеосистема є лише сукупністю населених пунктів відповідного рангу в окремо взятому регіоні, однак, у той саме час такою сукупністю цих об'єктів, яка демонструє певні емерджентні властивості [3]. Останні, зрозумілим чином, впливають саме із зв'язків між вказаними складовими системи, а змістом моделі урбогеосистеми стають аналіз та прогноз просторових варіацій в урбогеосистемі.

З іншого боку, серед російських фахівців в останні два десятиріччя достатньо часто використовується поняття урбогеосистеми [4, 5]. Остання розуміється як «... просторово-ограниченна природно-техногенная система, сложный комплекс взаимосвязанных обменом вещества и энергии...» [4, с. 17]. Тобто урбогеосистема — це штучно створено й підтримуване людиною середовище. Це, як правило, міста та інші урбанізовані техногенною цивілізацією ділянки землі.

Таким чином, можна стверджувати, що урбогеосистема, на відміну від урбогеосистеми, робить наголос на розгляді не тільки і не стільки володіючої системними властивостями сукупності населених пунктів, скільки на дослідженні окремого міста як унікального системного утворення, що знаходиться в певному екстенсі географічного простору [1]. Із цієї точки зору можна зробити вже третю (після понять «урбогеосистема» і «урбогеосистема») дефініцію із відповідного понятійного апарату — дефініцію урбогеосистеми. Це, як правило, така, що знаходиться у визначеному екстенсі географічного простору, нестала природно-антропогенна система, яка є взаємозв'язаною сукупністю архітектурно-будівельних об'єктів (збудов) і різко порушених природничих екосистем.

Серед деяких фахівців [3, 7, 8] є майже загальноприйнятим, що урбаністичну систему можна моделювати і візуалізувати за допомогою трьох наступних сутностей: сукупності точкових об'єктів, які подають суспільно-географічні та економічні властивості окремих міст; сукупності лінійних об'єктів, що визначають особливості взаємодій між окремими населеними пунктами; та за допомогою сукупності сфер, які визначатимуть території різнорангового впливу окремого міста на прилеглі сільськогосподарські та інші райони. Однак, ми бачимо, що у такому разі вказані сутності добре співпадають із так званими графічними примітивами середовища ГІС, і ця обставина відкриває неабиякі можливості для подальших моделювання і розробки у вказаній предметній галузі.

Подібний концептуальний підхід, який фактично подає всю алгоритмічну послідовність дослідження урбогеосистем за допомогою ГІС-засобів, можна схематизовано подати наступним чином, якщо спиратися на відповідну аналітичну методику, запропоновану Г. Ду вже більш ніж півтора десятиріччя тому [8] (рис. 1). Представлений на ілюстрації концептуальний підхід щодо дослідження і аналізу урбогеосистем різ-

ного рангу через ГІС-засоби поєднує воедино різні етапи та стадії відповідних процедур, починаючи із введення атрибутивних даних, зібраних під час міського моніторингу (у тому числі — за допомогою технології LiDAR), продовжуючи застосуванням певної предметної моделі (наприклад, гравітаційної урбомоделі) і закінчуючи впровадженням ГІС-моделі урбогеосистеми, яка лише і дозволяє визначити емерджентні властивості цього системного утворення (див. рис. 1).

Атрибути урбогеосистеми — описові характеристики її властивостей складаються, як правило, із двох видів інформації. Це, по-перше, атрибутивні дані щодо певного міста, які в стандартних форматах мають зберігатися в муніципальних базах даних, і які можна отримати на комерційній основі. По-друге, це відкриті дані щодо певних урбаністичних характеристик, тобто такі, які мають існувати у відкритому доступі, наприклад, дані обласних державних управлінь статистики, більшість таких даних можна отримати безкоштовно. Останні стосуються переважно загальних суспільно-географічних і соціально-економічних показників розвитку територіальних адміністративних утворень і дають уяву про просторові взаємозв'язки між окремими містами (випадає «урбогеосистеми», див. пояснення вище) або між окремими частинами одного міста (випадає «урбогеосистеми») у вигляді руху людей, товарів, фінансів і т.д. У випадку N населених пунктів або N частин одного міста ми маємо приймати до уваги кількість просторових

зв'язків, що дорівнює $N * N$, і саме це число буде визначати кількість лінійних ГІС-об'єктів при реалізації вказаного концептуального підходу (див. рис. 1).

Інформаційною основою реалізації всієї вказаної концептуальної послідовності дослідницьких етапів будуть як обидва зазначені типи даних, так і певна предметна модель, наприклад, відома в суспільно-географічних дослідженнях так звана «гравітаційна модель» [9]. Причому, виключно через засоби ГІС існують можливість імплементації «гравітаційної моделі» щодо сукупності точкових об'єктів, які будуть подавати окремі міста або навіть — окремі будівлі в одному місті. Обидва вказані вище типи даних і предметна модель зводяться в ГІС-модель урбогеосистеми, що, власне, і виявляє емерджентні властивості об'єкта, який вона відтворює (див. рис. 1). Вважаємо, що ці властивості можуть бути двох рівнів — нижчого, який має на увазі лише аносоване вище визначення морфології/динаміки архітектурних змін певного міста, та вищого, який відноситься вже до складних суспільно-географічних процесів. В цьому аспекті можуть, наприклад, відтворюватися міграційні процеси міського населення, на чому і робиться наголос на ілюстрації вище.

Взагалі, певні методологічні рамки імплементації предметних суспільно-географічних моделей в геоінформаційні моделі як в сукупності аналітичних ГІС-засобів нещодавно вже викладалися авторами цієї статті [10].

ГІС-інтерфейс та функціональність спеціалі-

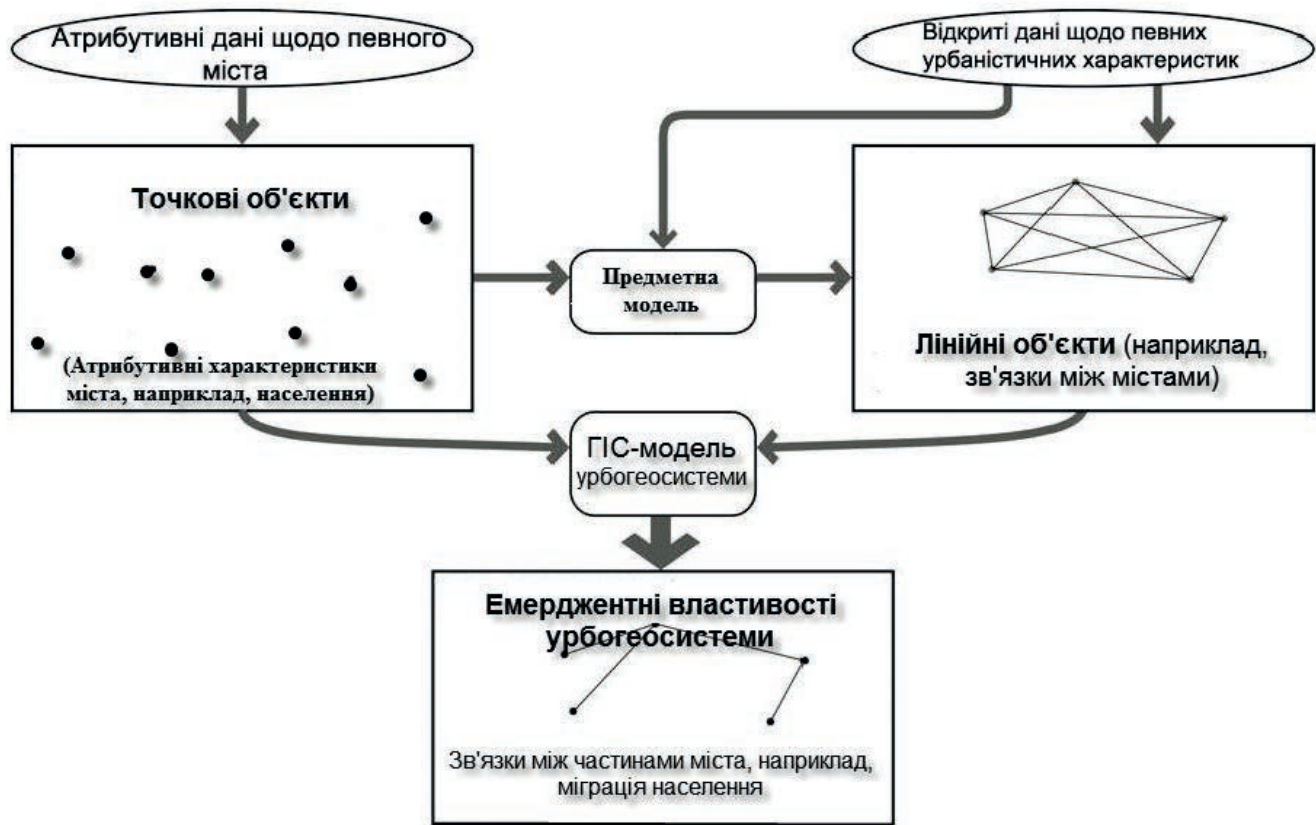


Рис. 1. Складові концептуального підходу дослідження урбогеосистем на підставі ГІС-засобів

зованого програмного забезпечення. Вважаємо, що втілюючи головні принципи та положення розробки графічного інтерфейсу користувача та функціональності спеціалізованого програмного забезпечення для аналізу урбогеосистем, було необхідно керуватися наступними обставинами щодо існуючого ринкового попиту на подібне програмне забезпечення:

- Наявність швидко зростаючих мегалополісів та інші великі міста, що функціонують як все більш і більш ускладнені урбогеосистеми;

- Необхідність отримання високоточних цифрових моделей місцевості щодо менеджменту територій міст, які тільки і можуть бути отримані на підставі технології LiDAR;

- Потреба в автоматизованих засобах огляду, аналізу і візуалізації повної інфраструктури міста або певної сукупності населених пунктів, повної структури будівель та домівок для всієї території міста або для його окремої частини, і особливо — щодо отримання кількісних та якісних характеристик, наприклад, архітектурних змін, які мали місце за певний проміжок часу. Останнє, між іншим, в останній час вважається дуже і дуже запитаним в урбаністичних дослідженнях через GIS-засоби, і навіть відноситься деякими фахівцями до новітньої предметної галузі суспільної географії — «георозрахунків» (geocomputation — англ.) [11].

Базові архітектура і головна функціональність програмно-апаратного комплексу UrbanGeo™ (а саме такою сутністю треба розглядати ПЗ + апаратні засоби LiDAR сканування та зондування) ком-

панії iData Solutions подаються на наступній ілюстрації (рис. 2). Автори статті розглядають цей комплекс як новітнє покоління GIS-засобів із відповідними характеристиками функціональності, які впорядковано тут перераховуються (див. рис. 2). Ця функціональність є високоефективною, такою, яка забезпечує обробку дійсно тривимірної інформації, інтеграцію і візуалізацію даних. Взагалі, розробки компанії iDATA Solutions вже були імплементовані в декількох предметних галузях, де зрозумілим чином мають використовуватися GIS-платформи та їх відповідні додатки: це, наприклад, менеджмент просторових баз геоданих, моделювання геологічного середовища, різні види обробки просторової геоінформації, зокрема — автоматизоване виділення 2D/3D векторних об'єктів із «хмар точок» LiDAR даних.

Особливості інтерфейсу ПЗ, про яке йдеться, полягають у тому, що структура первинних та похідних даних організована у вигляді ієрархічного Проекту тек певних шарів цих даних, а вже до шарів застосовується широкий перелік засобів та інструментів щодо візуалізації та інтеграції інформації. Характерно, що останні, як правило, використовуються через так звані інтерфейсні Помічники ("Візарди" — Wizards — англ.). Слід окремо підкреслити, що в програмному забезпеченні UrbanGeo™ реалізовано понад 3000 географічних проекцій та координатних систем щодо всього спектру різноманітних задач просторового аналізу. Відповідно, будь-який приклад первинних даних підлягає подальшій геообробці, приймаючи



Рис. 2. Особливості архітектури та функціональності програмно-апаратного комплексу UrbanGeo™

до уваги геопроекцію та координатну систему, в якій ці дані подаються. Це, окрім всього іншого, забезпечує кінцеву наочну візуалізацію результатів обробки будь-якої растрової або векторної інформації, яка може відноситися або до природного довкілля, або до артеприродного середовища (рис. 3).

Зрозумілим чином, процедура аналізу урбогосистем через спеціалізоване програмне забезпечення починається із вводу первинних даних щодо просторових і атрибутивних властивостей цих систем для того, щоб описати такі їх необхідні характеристики як розмір, місцезнаходження, різноманітні суспільно-географічні та соціально-економічні властивості. Відповідно, таке програмне забезпечення має підтримувати імпорт, обробку та експорт даних у наступних базових ГІС-форматах: векторних та растрових

числових форматах (звичайні векторні дані, растрові "ґріди" та зображення, різноформатні 3D-моделі, TIN-моделі і т.д), у форматі провідних розробників ПЗ ГІС (ESRI, MapInfo, ERDAS, Google Earth).

Програмне забезпечення UrbanGeo™ побудовано на основі єдиної технологічної платформи, яка дозволяє ефективно обробляти і відображати величезні набори даних високої роздільної здатності — зокрема, LiDAR — дані, у форматі.LAS. Останні можуть включати до мільярдів точок в єдиному файлі. Враховуючи це, і пам'ятаючи про підтримку різноманітних ГІС-форматів «на вході», можна зробити висновок, що така геоінформаційна технологія матиме майже необмежені можливості по інтеграції даних і подальшій 2D/3D візуалізації різноформатної похідної інформації.

Результати аналізу урбогосистем через LiDAR-

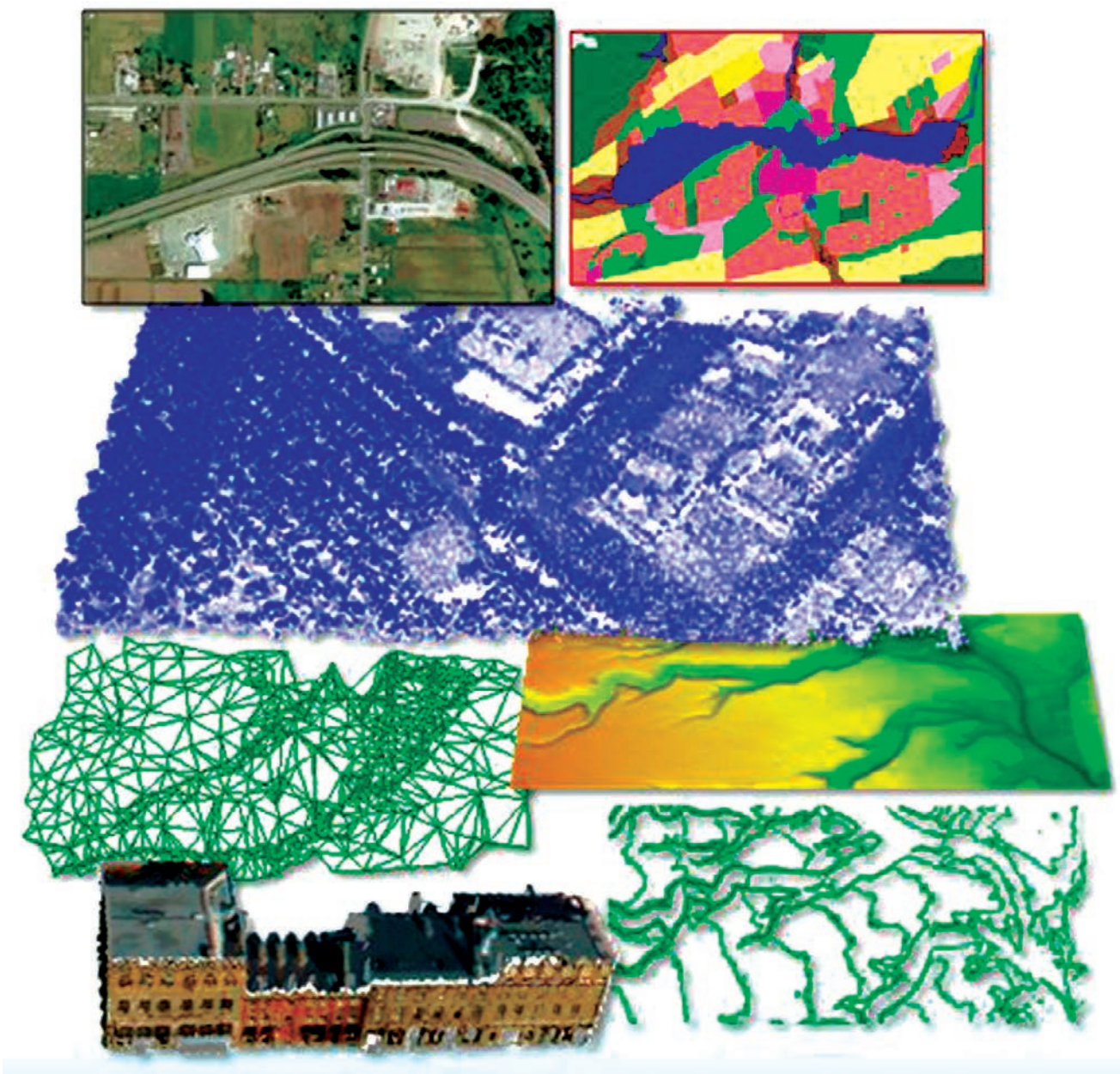


Рис. 3. Наочна растрова та векторна 2D/3D візуалізація об'єктів природно-антропогенного довкілля в середовищі ПЗ UrbanGeo™

технологію і ГІС-засоби. Зазвичай впровадження певних ГІС-застосувань та методів комп'ютерної картографії спрямоване на класифікацію дискретних об'єктів при остаточній візуалізації результатів ГІС-аналізу. Однак, цілі дослідження, зміст якого тут викладається, мають на увазі вирішення дещо інших задач. Йдеться про те, що першою передумовою впровадження автоматизованого аналізу урбогеосистем є класифікація континуального об'єкту — підстильної поверхні — на підставі первинних даних дистанційного зондування (сканування). При цьому, сьогодні існує майже кілька десятків способів виконання вказаної процедури, серед яких окрім технології LiDAR дуже ефективними вважаються, наприклад, способи класифікації підстильної поверхні по багатоканальному зображенню (отриманому з використанням різних локаційних датчиків — радіолокаційних, оптоелектронних), до яких відносяться так звані спосіб паралелепіпедів, спосіб максимальної правдоподібності та деякі інші [12].

Однак, існують чимало прямих посилань на те, що виключно LiDAR-дані забезпечують побудову таких високоточних ЦМР, які тільки і необхідні для аналізу урбогеосистем (наприклад [13–17]). В рамках методологічного підходу, який викладається в цій статті, застосування спеціалізованого ПЗ із використанням технології LiDAR звичайно має в якості вихідних результатів:

- цифрові моделі місцевості (ЦММ, DSM — digital surface model — англ.), які відрізняються від ЦМР тим, що подаючи поверхню розподілу двох середовищ (атмосфери і літосфери), враховують не лише природний рельєф із ґрунтовим покривом або із виходами

гірських порід на поверхню, але і рослинність, забудови, інші складові техногенної інфраструктури;

- звичайні цифрові моделі рельєфу, про які йшлося у статті вище, останні подають як природничий рельєф різного генетичного походження.

Для подальшого аналізу урбогеосистем передбачається застосування на підставі ЦММ/ЦМР іншої функціональності, яка присутня в ПЗ UrbanGeo™. Безпосередньо ця процедура починається із вже згаданої вище класифікації на підставі LiDAR-даних — об'єднання окремих квазидискретних об'єктів з подібними значеннями (обраними за певними критеріями) та віднесення їх до якогось класу в рамках загального континуального об'єкту — підстильної поверхні: спочатку UrbanGeo™ приписує точки до певного класу (наприклад, ground (поверхня — рельєф місцевості), vegetation (рослинність), buildings (збудови)); наступним використовується тематичне картографування для наочної візуалізації результатів класифікації, яка була зроблена на попередньому кроці; кінець кінцем, будь-який певний клас LiDAR-точок розміщується в окремий шар даних для наступного аналізу.

На підставі впровадження відповідних алгоритмів визначення та аналізу динаміки різнорангових архітектурних форм міста здійснюється безперервний моніторинг змін в урбогеосистемі в цілях муніципального менеджменту територій великих міст. Встановлена динаміка формалізується через записи відповідних змін у Вікні Звіту до бази даних, а наочна візуалізація змін подається у Вікні 3D Сцени інтерфейсу UrbanGeo™ (рис. 4).



Рис. 4. Вікно Звіту до бази даних, де подаються впорядковані результати аналізу урбогеосистем

Зрозумілим чином може йтися про те, що виконавчі служби місцевого самоврядування будуть зацікавлені в подібних результатах аналізу урбогеосистем, зокрема, у відповідній цифровій інформації і 3D моделях, створених на підставі LiDAR-даних (наприклад, у форматі файлів.KML) (див. рис. 4), у той час, коли автоматизована генерація високоточних ЦММ, яка є бов'язковою складовою всього методологічного підходу, який тут викладається, сама по собі необхідна для створення генеральних планів розвитку великих міст.

Повністю очевидними також є ще кілька переваг впровадження LiDAR-підходу через програмне забезпечення ГІС, а саме: виконується виключно автоматизована процедура побудови ЦММ, які можуть бути застосовані для різних суто муніципальних потреб; можлива обробка надвеликих обсягів даних із наступною 3D візуалізацією: високі точність та роздільна здатність ЦММ забезпечуються LiDAR-даними без необхідності застосовувати додаткові по-

хідні методи побудови таких моделей; при наявності відповідних умов моніторинг урбогеосистеми можна виконувати в режимі реального часу (рахунок може йти на години); можна застосовувати різні додаткові засоби просторового аналізу, які тільки підтримує ГІС-платформа; результатом є високоточна локалізація змін в урбогеосистемі; забезпечується можливість точного повторення та відновлення процедур аналізу та моделювання.

Слід окремо підкреслити, що саме в аспекті крупномасштабного аналізу динаміки урбогеосистем важко переоцінити існуючу в UrbanGeo™ можливість прямого автоматизованого виділення із «хмар LiDAR-точок» різнорангових архітектурних форм (навіть разом із їх другорядними деталями) в щільно забудованих районах міста. В цьому випадку наочна візуалізація дозволяє користувачу ПЗ прямо порівнювати і аналізувати високоточні 3D моделі навіть окремих споруд разом із рельєфом місцевості та рослинністю (рис. 5).

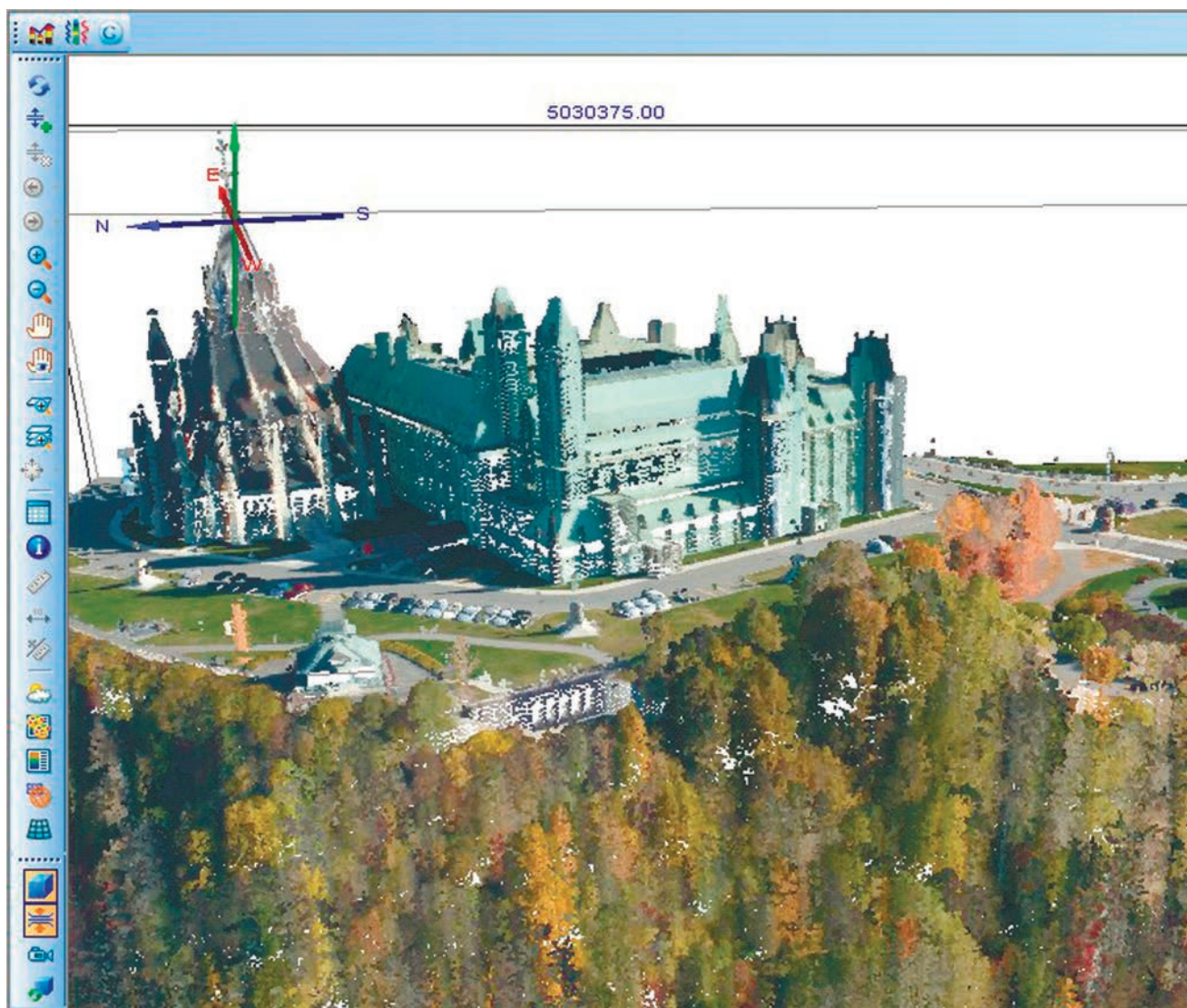


Рис. 5. Візуалізація із «хмар LiDAR-точок» в середовищі UrbanGeo™ об'єктів, які належать до трьох класифікаційних класів: забудови, рельєф та рослинність — 70 мільйонів точок створюють кольорову 3D LiDAR-сцену

Висновки. Завдяки застосуванню вхідних LiDAR-даних, програмне забезпечення UrbanGeo™ впроваджує найбільш ефективні аналітичні можливості ПС щодо аналізу урбогеосистем і визначення емергентних властивостей останніх.

Після виконання викладених тут процедур геообробки, аналізу та візуалізації доцільно: організувати розрахований на багато користувачів доступ до видаленої просторової інформації великого обсягу, яка стосується структурованих змін в урбогеосистемах; забезпечити наочну візуалізацію і ефективно подання похідних результатів аналізу LiDAR-даних, а також створення семантичних і топологічних моделей даних різноманітних міст, аж до великої агломерації; інтегрувати в єдиний проект та в спеціалізовану базу геоданих

розподілені просторові моделі сукупностей забудов та іншу наявну інформацію щодо урбогеосистем.

На підставі викладених в статті засобів геообробки та моделювання можна надавати консалтингові послуги і забезпечувати корпоративні рішення для підприємств місцевого самоврядування, картографічної, енергетичної транспортної та інших галузей. Використовуючи LiDAR-дані дистанційного сканування, спеціалізоване ПЗ щодо аналізу урбогеосистем допомагає користувачам приймати важливі рішення на основі похідних результатів інтеграції і візуалізації двовимірної і тривимірної просторової та атрибутивної інформації.

**Рецензент: доктор географічних наук, професор
К. А. Немець**

Література:

1. Костріков С. В. Геоінформаційне моделювання природно-антропогенного довкілля. Наукова монографія/С. В. Костріков//Харків: Вид-во ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2014. — 484 с.
2. Taylor G. Modelling and prediction of GPS availability with digital photogrammetry and LiDAR/G. Taylor, D. Kidner, K. Brundson//International Journal of Geographical Information Science. — [Vol. 21, No. 1] — 2007. — P. 1–20.
3. Bourne L. S. & Simmons J. W. (eds), Systems of Cities: Readings on Structure, Growth, and Policy/L. S. Bourne, J. W. Simmons — Oxford: Oxford University Press, 1978. — 565 p.
4. Лихачева Э. А. Город — экосистема/Э. А. Лихачева, Д. А. Тимофеев, М. П. Жидков [и др.]. — М.: ИГРАН, 1996. — 336 с.
5. Исаченко А. Г. Экологическая география России/А. Г. Исаченко. — СПб: Изд-во С.-Пб. ун-та, 2001. — 328 с.
6. Битюкова В. Р. Социально-экологические проблемы развития городов России/В. Р. Битюкова.- М.: Едиториал УРСС, 2004. — 448 с.
7. Bozeman B. Scientific and technical information and urban policy-making/B. Bozeman//Urban Systems. — [Vol. 4, No. 3] — 1978. — P. 161–172.
8. Du G. Q. A Study on the relationship of regional urbanization and socio-economic structure in China/G. Q. Du//Annals of Japanese Association of Economical Geographers. — [Vol. 43]. — 1997. — P. 151–164 (in Japanese with English abstract).
9. Власов М. П. Моделирование экономических процессов/М. П. Власов, П. Д. Шимко — Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. — С. 137–170.
10. Kostrikov S., Segida K. Human geography with geographical geoinformation systems/С. Костріков, К. Сегіда//Часопис соціально-економічної географії. — [Вип. 15 (2)]. — 2013. — С. 39–47.
11. Cheng T. Advances in geocomputaion (2006–2011)/T. Cheng, J. Haworth, E. Manley//Computers, Environment and Urban Systems. — [Vol. 36] — 2012. — P. 481–487.
12. Кашкин В. Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие/В. Б. Кашкин, А. И. Сухинин. — М.: Логос, 2001, — 264 с.
13. Brunn A., Weidner U. Extracting Buildings from Digital Surface Models/A. Brunn, U. Weidner//IAPRS. — [Vol 32 (3–4W2)]. — 1997. — P. 27–34.
14. Kraus K., Pfeifer N. Determination of terrain models in wooded areas with aerial laser scanner data/K. Kraus, N. Pfeifer//ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. — [Vol 53, No 4]. — 1998. — P. 193–203.
15. Habib A. Photogrammetric and lidar Data Registration Using Linear Features/A. Habib, M. Ghanma, M. Morgan, R. Al-Ruzouq//Photogramm. Eng. Remote Sens. — [Vol 71]. — 2005. — P. 699–707.
16. Luzum B. J. Identification and analysis of airborne laser swath mapping data in a novel feature space/B. J. Luzum, K. C. Slatton, R. L. Shrestha//IEEE Geosci. Remote Sens. Lett. — [Vol 1]. — 2004. — P. 268–271.
17. Romano M. E. Innovation in LiDAR processing technology/M. E. Romano//Photogramm. Eng. Remote Sens. — [Vol 70]. — 2004. — P. 1202–1206.