

Мирослав Олександрович Кравчук

аспірант кафедри кадастру територій, інституту геодезії
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)
E-mail: myroslav.o.kravchuk@lpnu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8743-8715>

**ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ
ТА ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ФОРМУВАННІ ЦИФРОВИХ
МОДЕЛЕЙ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД**

Висвітлено концепцію формування цифрової моделі землекористування територіальних громад. До технологічного процесу створення цифрової моделі включено чотири етапи робіт, що забезпечують комплексний підхід до збору, систематизації та візуалізації геопросторових даних для ефективного управління земельними ресурсами. Розглянуто інтеграцію геопросторових даних як технологічний процес приведення різномірної просторової інформації (растрових даних ДЗЗ, векторних кадастрових карт, результатів аерозйомки) до єдиної системи координат та топологічної узгодженості в ГІС-середовищі з метою комплексного моделювання та аналізу території громади. Запропоновано структурно-логічну схему інтеграції мультисенсорних даних ДЗЗ та кадастрової інформації в ГІС-середовищі.

Ключові слова: Геоінформаційні системи (ГІС); дистанційне зондування Землі (ДЗЗ); цифрова модель землекористування; оверлейний аналіз; земельний кадастр; просторове планування; «цифровий двійник».

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 21.

Актуальність теми дослідження. Унаслідок реформування системи земельних відносин та децентралізації влади в Україні територіальні громади (ТГ) отримали широкі повноваження щодо розпорядження землями. Ефективне управління земельними ресурсами неможливе без актуальної, достовірної та повної просторової інформації, що зумовлено потребою розробки комплексних планів просторового розвитку територіальних громад та переходом до нових технологічних рішень – цифрових моделей землекористувань. Сьогодні цифрова модель землекористування територіальних громад розглядається як інструмент забезпечення сталого розвитку, ефективного наповнення місцевих бюджетів та раціонального використання природноресурсного потенціалу громади. Крім того, під час воєнного стану та повоєнного відновлення постає питання швидкої інвентаризації земель та оцінки збитків, завданих довкіллю, визначення яких неможливе без застосування аерокосмічних методів. Космічну візуалізацію забезпечують мультиспектральні просторові зображення у різних діапазонах довжин хвиль електромагнітного спектра. Обробка мультиспектральних знімків здійснюється із застосуванням комерційного та відкритого інструментарію ГІС (зокрема QGIS), що дозволяє створювати інтерактивні карти, розраховувати вегетаційні індекси та моделювати аналітичні поверхні.

Постановка проблеми. Відсутність адаптованих методичних підходів щодо комплексної інтеграції даних ДЗЗ та ГІС у єдині цифрові моделі землекористування територіальних громад ускладнює процес використання супутникових знімків та програмного забезпечення для вирішення нагальних питань територіального розвитку. Перетворення розрізненого масиву інформації на дієвий інструмент «цифровий двійник» території громади для моніторингу та управління територією громади є пріоритетним завданням сучасного просторового планування та землевпорядкування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання впровадження геоінформаційних систем та використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) в системі управління земельними ресурсами є предметом активних дискусій у сучасному науковому середовищі. Теоретико-методологічні засади цифрової трансформації системи землеустрою, зокрема автоматизація управлінських процесів, ґрунтовно висвітлено у працях О. Ступень та співавторів [1]. Безпосередньо розробці методик цифрового моделювання землекористувань територіальних громад присвячені дослідження М. Білявського [2], тоді як питання геодезичного планування та створення цифрових моделей безпосередньо в агроландшафтах розкриті в роботах В. Кирилюка та колег [3].

Значний масив наукових праць присвячений практичним аспектам використання ГІС-технологій та даних ДЗЗ для моніторингу змін землекористування та інвентаризації земель. Ці питання детально розглядаються в роботах О. Браславської [4]. Вагомий внесок у формування геоінформаційних та індикативних підходів до оцінки ефективності використання земель з урахуванням різноманітних просторових обмежень зробили С. Нестеренко, О. Байструк та ін. [5, 6]. Специфіку застосування ГІС для сталого управління сільськогосподарськими землями (наприклад, аналіз крутизни схилів) досліджує L. Datsenko та інші [7; 8].

Окремим перспективним напрямом є концепції «Smart Land» та просторове планування на місцевому рівні. Використання ГІС-платформ як основи для створення комплексних планів просторового розвитку громад аналізується у праці О. Корішунська [9]. Роль ГІС-інтеграції та геоінформаційного аналізу для сталого розвитку саме об'єднаних територіальних громад підкреслюється в дослідженнях S. Shevchuk [10], A. Evdokimov [11] та моделях регіонального розвитку К. Мамонів [12]. Водночас інноваційні концепції смартурбаністики, розумного землекористування та інтеграції 3D-геопросторових даних для сталого територіального управління розкриті в публікаціях А. Станкевича [13], А. Figurek та ін. [14], а також F. Bianconi [15].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість ґрунтовних наукових праць, присвячених окремим аспектам застосування ГІС та ДЗЗ, проблема їхньої комплексної інтеграції саме для формування цілісних цифрових моделей землекористування на базовому рівні (територіальних громад) залишається недостатньо розкритою. Більшість досліджень фокусується або на загальнонаціональному чи національному моніторингу, або на вузькогалузевих завданнях (виключно агроландшафти чи великі міста). Інтеграція різних видів даних ДЗЗ з місцевими геоінформаційними системами громад для розробки комплексних планів просторового розвитку потребує вдосконалення наявних механізмів та формування єдиного методологічного алгоритму.

Мета статті. Мета дослідження полягає в аналізі теоретико-методологічного обґрунтування та розроблення практичних алгоритмів інтеграції даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем для формування комплексних цифрових моделей землекористування територіальних громад.

Виклад основного матеріалу. Сучасний етап розвитку земельних відносин в Україні характеризується докорінним реформуванням системи управління територіями на базовому рівні. Ключовим нормативно-правовим рушієм цих змін став Закон України № 711-ІХ «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель територіальних громад». Цим документом запроваджено фундаментально новий інструмент управління – Комплексний план просторового розвитку території територіальної громади, який одночасно є містобудівною документацією та документацією із землеустрою [16]. Крім того, імплементація вимог Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» зобов'язує органи місцевого самоврядування створювати, регулярно оновлювати та інтегрувати набори базових і тематичних геоданих на відповідних геопорталах [17]. Відповідно до Порядку розроблення містобудівної документації (Постанова КМУ № 926), основою для таких планів мають слугувати виключно актуальні цифрові карти у державній системі координат УСК-2000 [18].

Незважаючи на ґрунтовну законодавчу базу, практичний стан забезпечення територіальних громад якісною просторовою інформацією на сьогодні залишається незадовільним. Більшість громад не володіють актуальною топографо-геодезичною основою (зокрема масштабу 1:10000), а наявні матеріали є застарілими та розрізненими. Дані Державного земельного кадастру часто містять топологічні помилки, так звані «білі плями», просторові накладки та суттєві розбіжності між юридичними межами ділянок і їхнім фактичним використанням (рис. 1) [1; 4].

модель землекористування є динамічним інструментом. Кожний її графічний об'єкт (земельна ділянка, лісовий масив, водойма) пов'язаний із розширеною базою даних, що дозволяє автоматично здійснювати просторовий аналіз, виявляти топологічні помилки, накладки та юридичні розбіжності між правовим статусом землі та її фактичним використанням. Модель слугує фундаментом для розробки комплексних планів просторового розвитку територій, здійснення постійного моніторингу земель, оцінки екологічного стану ландшафтів та прийняття обґрунтованих управлінських рішень органами місцевого самоврядування.

У процесі цифрового моделювання землекористування ключову роль відіграють геоінформаційні системи, які дозволяють інтегрувати різноманітні джерела даних (кадастрова інформація, супутникові знімки, топографічні матеріали та екологічні показники), забезпечуючи повну багаторівневу зручність використання за допомогою ArcGIS Pro. Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зокрема супутникова й аерофотозйомка, забезпечують ефективний моніторинг змін землекористування, дозволяють оцінювати природні процеси, виявляти антропогенний вплив та здійснювати прогнозування трансформацій земельних ресурсів. Сучасні дослідження підтверджують високу ефективність інтеграції технологій ДЗЗ та ГІС у процесах моніторингу навколишнього природного середовища [1; 2; 4; 5; 7] з вивчення площ поверхневих вод, фіксування деградації озер, контролю лісів (вирубки і стану лісових насаджень) та сільськогосподарських земель (оцінка посівів, фіксація надзвичайних ситуацій). Інтеграція цих двох потужних інструментів суттєво підвищує ефективність управління земельним фондом, забезпечуючи оперативність, масштабність і точність. Архітектура системи утворює гнучку модульну структуру, що дозволяє вертикальну та горизонтальну інтеграцію різних джерел даних. Система охоплює тематичні та функціональні шари, включаючи геопросторові, екологічні, соціально-демографічні й інфраструктурні дані, утворюючи таким чином багатовимірну та доступну для досліджень інформаційну базу.

Формування цифрової моделі землекористування – це не просто «малювання карти», це створення багатосарової бази геопросторових даних, яка відображає юридичний (де-юре) та фактичний (де-факто) стан земель. І. Ковальчук та А. Ковальчук запропонували блокову структуру картографічного забезпечення бази геоданих, яка дозволить всесторонньо забезпечити вимоги менеджменту функціонування територіальної громади. Запропонована структура передбачає поділ картографічного матеріалу на чотири блоки, а саме [20]:

Блок 1. Загальна інформація про об'єднану територіальну громаду. Блок включає межі, адміністративний поділ, топографічну карту, цифрову карту рельєфу, карти забудованих територій, дорожньої інфраструктури громади, об'єктів інженерного облаштування, населення та його розміщення по території громади, розміщення сільськогосподарських угідь та іншого цільового призначення.

Блок 2. Аналітична інформація про об'єднану територіальну громаду передбачає актуальні космічні знімки, карти інвентаризації земель, існуючого використання земель різного цільового призначення, порушень цільового використання земель громади, карти агрохімічного та агрофізичного стану земель сільськогосподарського призначення, карти лісів, водних об'єктів, мінерально-сировинних ресурсів на території громади, карта звалищ побутових відходів на території ОТГ.

Блок 3. Соціально-економічна інформація про територіальну громаду включає інформацію про соціальний статус населення громади, карти соціальної інфраструктури територіальної громади (освіта, лікувально-оздоровча, рекреаційна, туристична і природоохоронна інфраструктура) та карти економічної інфраструктури громади.

Блок 4. Перспективи розвитку об'єднаної територіальної громади містить проектну документацію – Генеральний план, плани і схеми перспективного господарського розвитку громади, інновацій, ініціатив та проекти природоохоронних заходів.

Концепцію цифрової моделі землекористування розглядають через призму створення «цифрового двійника» земельного фонду територіальної громади. На відміну від традиційних карт, це динамічна, багатовимірна система, архітектура якої формується шляхом інтеграції та просторового накладання масивів даних за допомогою ГІС. Процес створення шарів охоплює зведення в єдину координатну систему кадастрової інформації, топографічної основи, гідрологічної мережі, даних ґрунтового покриву, інженерних комунікацій та даних ДЗЗ. Сформоване віртуальне середовище об'єктивно відображає поточний стан угідь, а також дозволяє моделювати просторові процеси, аналізувати наслідки антропогенного навантаження (впливу військових дій, деградації ґрунтів) та прогнозувати ефективність впровадження систем точного землеробства чи меліоративних заходів. Перетворення розрізнених просторових даних на дієвий цифровий інструмент управління територією громади здійснюється за чітким алгоритмом. Архітектура побудови повноцінного «цифрового двійника» землекористування громади передбачає проходження низки послідовних кроків.

Технологічний процес створення цифрової моделі землекористування можна розділити на чотири ключових етапи: 1. Підготовчий етап або збір та аудит вхідних даних. 2. Етап первинної обробки або формування бази геоданих. 3. Аналітичний та синтезуючий етап (Просторове моделювання). 4. Прикладний етап (Впровадження та моніторинг) (рис. 2). Побудова цифрової моделі території громади здійснюється відповідно до вимог просторового планування, кадастрового обліку, розвитку інженерної та транспортної інфраструктури, екологічного моніторингу. В основу процесу закладено інтеграцію даних дистанційного зондування Землі та геоінформаційних систем. Зазначимо, що інтеграція даних – це процес об'єднання даних із різних джерел, які відрізняються за форматом, структурою або походженням, у єдине уніфіковане інформаційне середовище для забезпечення їх цілісності, узгодженості та придатності для спільного аналізу. Відповідно, інтеграція геопросторових даних – це технологічний процес приведення різномірної інформації (зокрема растрових даних ДЗЗ, векторних кадастрових планів та матеріалів аерофотознімання) до єдиної системи координат і топологічної узгодженості в ГІС-середовищі, що здійснюється з метою комплексного моделювання та аналізу території громади [10].

Формування цифрової моделі території здійснюється у векторному вигляді, що є оптимальним рішенням для забезпечення гнучкості процесів просторового аналізу, моніторингу та візуалізації. Джерельною базою для векторизації геопросторових об'єктів слугують високодетальні ортофотоплани, супутникові знімки Sentinel-2, топографічні плани масштабів 1:2000–1:5000 та дані з Державного земельного кадастру. Процес моделювання реалізується на базі програмного комплексу QGIS із застосуванням його стандартних аналітичних інструментів. Структурування інформації передбачає розподіл на тематичні векторні шари: шляхи сполучення (лінійні та полігональні), межі земельних ділянок (полігональні), водні об'єкти (лінійні та полігональні) та будівлі (полігональні). Усі геопросторові дані зведені до єдиної Державної системи координат УСК-2000 для забезпечення їхньої повної сумісності.

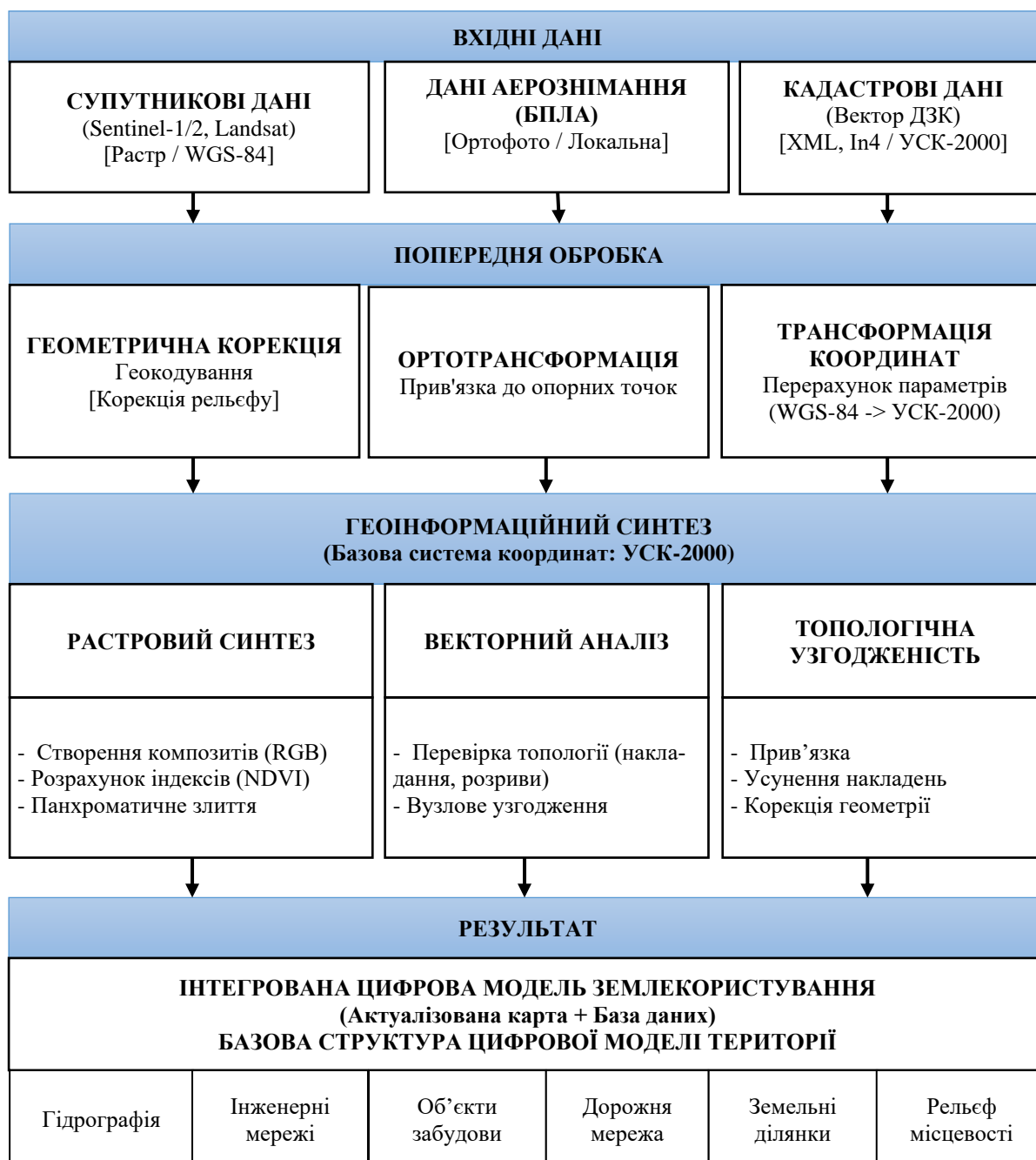


Рис. 2. Структурно-логічна схема інтеграції мультисенсорних даних ДЗЗ та кадастрової інформації в ГІС-середовищі

Джерело: авторська розробка.

Зазначимо, що навіть за умови однакової системи координат, супутникові дані можуть мати зміщення відносно точних меж ділянок. Вирішення проблеми досягається вибором опорних точок та геометричною корекцією. Опорні точки – це чіткі контури на місцевості (перехрестя доріг, кути капітальних будівель) і, які добре ідентифікуються як на радарних/оптичних знімках, так і на ортофотопланах БПЛА. Геометрична корекція передбачає здійснення поліноміальне перетворення (зазвичай 1-го або 2-го порядку) растрового зображення для мінімізації середньоквадратичної помилки (RMS Error). Цільове значення RMS не повинно перевищувати 0,5...1 пікселя. Інтеграція кадастрових карт часто виявляє «то-

пологічні колізії» – помилки в геометрії об'єктів. Для їх усунення в ГІС (QGIS) застосовуються правила топології – перевірка на накладання меж однієї земельної ділянки, що заходять на іншу, розриви між спільними межами суміжними ділянками та вузлове узгодження вершин векторних об'єктів до вузлів базового шару (наприклад, меж, визначених за високоточними даними БПЛА) в межах заданого допуску.

Невід'ємним складником створення цифрової моделі є процес ідентифікації просторових змін та структурування землекористування відповідно методики автоматизованого дешифрування даних дистанційного зондування Землі. Автоматизоване дешифрування даних ДЗЗ передбачає розчленування зображення та виділення фотосинтезуючої біомаси на основі розрахунку нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI). Індекс (NDVI) дозволяє чітко відмежовувати рослинний покрив від урбанізованих територій та водних дзеркал на основі спектральної яскравості пікселів.

Процес автоматизованої класифікації типів земельного покриву реалізовано з використанням попередньо підготовлених еталонних навчальних вибірок (training samples). У результаті формуються тематичні растрові шари за класами землекористування: «рілля», «лісова рослинність», «водні об'єкти», «забудова» та «пасовища». Отримані растрові моделі конвертуються у векторний формат (полігональні об'єкти) для подальшої геопросторової обробки, що забезпечує можливість точного картометричного визначення площ трансформованих угідь та їх інтеграції в базу даних ГІС. Особлива увага приділяється формуванню шару землекористування. Кожна земельна ділянка отримує унікальний кадастровий номер, вказується форма власності, площа, цільове призначення. За допомогою інструментів просторового аналізу здійснюється перевірка сумісності меж ділянок та актуалізація кадастрової інформації (рис. 3).

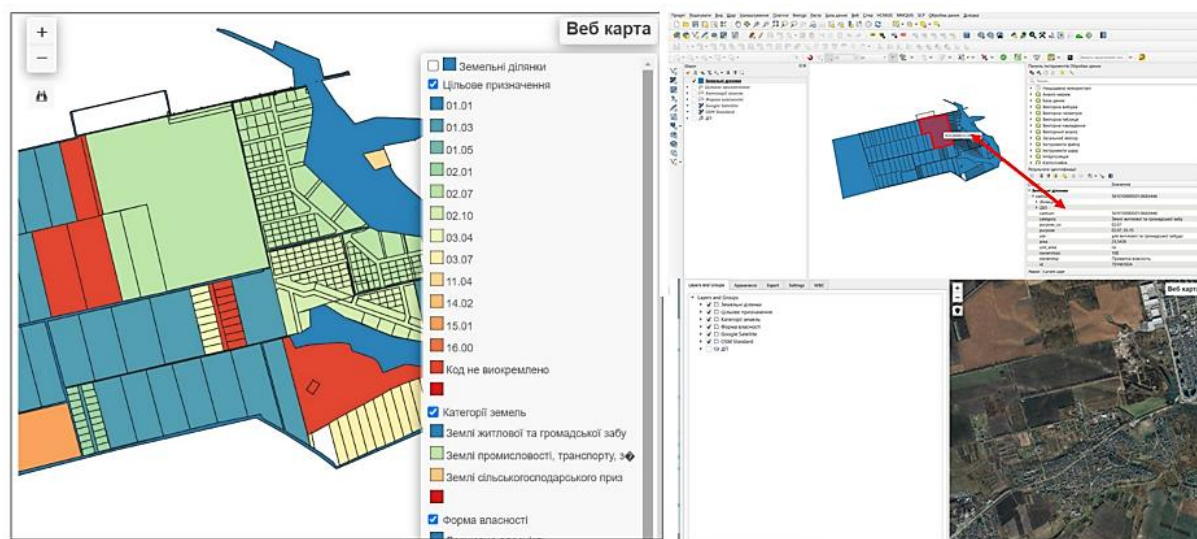


Рис. 3. Приклад цифрової моделі землекористування Рівненської громади
Джерело: авторська розробка.

Отже, формування єдиного геоінформаційного простору є фінальним етапом зі створення багатозарового проекту, де нижній шар – це цифрова модель рельєфу (SRTM або з БПЛА), середній шар – синтезоване растрове покриття (Мультиспектр + Радар), а верхній шар – векторна маска кадастрового поділу з атрибутивними даними.

Просторові дані зберігаються у форматах, що забезпечують високу швидкість обробки та можливість інтеграції в системи управління базами даних (PostGIS, Spatialite) або у форматах файлових баз (ESRI Geodatabase, GeoPackage). Для роботи із середовищами з відкритим кодом обирається формат GeoPackage, який забезпечує компактне збереження векторних і растрових даних разом з атрибутами в єдиному файлі (табл. 1).

Таблиця 1 – Атрибутивна таблиця структури бази даних

Назва шару ГІС	Тип геометрії	Атрибути (інформація в таблиці)	Джерело даних
Земельні ділянки (факт)	Полігон (Polygon)	Площа, культура, стан ґрунту, індекс NDVI	ДЗЗ (Супутник/БПЛА)
Земельні ділянки (право)	Полігон (Polygon)	Кадастровий номер, власник, цільове призначення	ДЗК (Кадастр)
Обмеження та обтяження	Полігон/Лінія	Тип обмеження (ЛЕП, санітарна зона), ширина	Містобудівна документація
Конфліктні зони	Полігон (Polygon)	Тип порушення (самозахоплення, нецільове), площа порушення, втрати бюджету	Розрахунковий шар (ГІС-аналіз)

Джерело: авторська розробка.

Процес побудови цифрової моделі передбачає інтеграцію тематичних шарів у єдину базу геоданих. Забезпечується узгодженість топологічних зв'язків між об'єктами різних класів, побудова логічної структури з урахуванням ієрархії об'єктів (наприклад, будівлі прив'язані до вулиць, вулиці – до меж населених пунктів, населені пункти – до меж громади).

Важливу частину процесу побудови цифрової моделі займає розробка стилів візуалізації тематичних шарів, які ґрунтуються на правилах відображення елементів (колір, тип ліній, товщина контурів, заповнення полігонів), що дозволяють створювати зрозумілу й інформативну картографічну продукцію. Створена цифрова модель території Рівненської територіальної громади є багаторівневою просторовою базою даних, що містить різноманітні об'єкти та забезпечує їхню обробку, аналіз і візуалізацію для вирішення завдань просторового планування, управління інфраструктурою та охорони навколишнього середовища.

Методи геоінформаційного аналізу і моделювання є ефективними засобами управління територіальними громадами, які дозволяють громадам автоматизовано порівнювати юридичні відомості Державного земельного кадастру з фактичним станом землекористування. Топологічне накладання картографічних шарів є основою проведення інвентаризації земель, виявлення ділянок необлікованого використання ріллі або сільськогосподарських угідь, самозахоплення та нецільового використання, що сприяє уточненню бази оподаткування і наповнення місцевого бюджету, дотримання екологічних вимог, виявлення порушень використання режимів прибережних захисних смуг та охоронних зон, а також забезпечення системного та прозорого управління земельним банком громади.

Висновки та рекомендації. Побудова цифрових моделей землекористування територіальних громад шляхом інтеграції даних дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій вимагає застосування спеціалізованих алгоритмів просторового аналізу, забезпечення жорсткої топологічної узгодженості векторних шарів та формування комплексної геореляційної бази даних атрибутивної інформації. Під інтеграцією даних розуміємо комплекс процедур із геометричної корекції, спектрального синтезу та оверлейного поєднання мультисенсорних даних дистанційного зондування (оптичних, радарних) із топографо-геодезичною основою для створення актуальної цифрової моделі землекористування. Методика створення цифрової моделі землекористування передбачає використання відкритих супутникових даних Sentinel та програмного забезпечення QGIS, які є базовими інструментами формування динамічної моделі «цифрового двійника» територій громади. Застосування геоінформаційного оверлейного аналізу забезпечує можливість автоматизованого зіставлення юридичних даних земельного кадастру з фактичним станом землекористування, що дозволяє ефективно ідентифікувати випадки порушень у використанні земель територіальних громад, а в умовах воєнного стану забезпечити безпечний моніторинг ресурсів та оцінку збитків без фізичного доступу до небезпечних ділянок. Використання відкритих даних (Sentinel-2) та програмного забезпечення з відкритим кодом (QGIS) робить технологію цифрового моделювання землекористування

економічно доступною для громад у розроблені комплексних планів просторового розвитку та забезпечення сталого повоєнного відновлення територій.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розширення функціоналу цифрової моделі шляхом інтеграції даних лазерного сканування (LiDAR) для 3D-моделювання забудови та вдосконалення алгоритмів автоматичного розпізнавання змін на основі штучного інтелекту.

Список використаних джерел

1. Ступень, О. І., Прокопенко, Н. І., & Шевчук, С. М. (2025). Цифрова трансформація системи землеустрою: автоматизація управлінських процесів у сфері використання та охорони земельних ресурсів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*, 212, 172-184. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296>.
2. Білявський, М. О. (2025). Розробка методики цифрового моделювання землекористувань та землеволодінь громади. *Український журнал прикладної економіки та техніки*, 1(10), 133-139. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-22>.
3. Кирилук, В., Рожі, & Т., Харів, В. (2023). Геодезичне планування в агроландшафті: створення цифрових карт та моделей для оптимізації землекористування. *Просторовий розвиток*, 6, 293–308. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>.
4. Браславська, О. В. (2025). ГІС-технології та дистанційне зондування у моніторингу змін землекористування. *Містобудування та територіальне планування*, 89, 472–487. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.472-487>.
5. Нестеренко, С. Г., Байструк, О. В., Демочко, І. О., (&) Фролов О. В. (2025). Геоінформаційний підхід до інвентаризації та оцінки ефективності використання земель різного цільового призначення з урахуванням просторових обмежень. *Комунальне господарство міст*, 6(194), 271-277. <https://doi.org/10.33042/3083-6727-2025-6-194-271-277>.
6. Нестеренко, С. Г., Байструк, О. В., Демочко, І. О., & Фролов, О. В. (2025). Індикативний підхід в геоінформаційних системах до моніторингу ефективності використання земель з просторовими обмеженнями. *Науковий вісник будівництва*, 113, 238-248. <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.113.1.29>.
7. Datsenko, L., Dubnytska, M., Mikhno, O., Polyakova, N., Sytnyk, M., & Titova, S. (2025). Analyzing Slope Steepness for Sustainable Agricultural Land Management in the Vinnytsia Urban Territorial Community Using GIS. *5th EAGE Workshop on assessment of landslide hazards and impact on communities*, (p. 1-5). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025520002>.
8. Datsenko, L., Titova, S., & Dubnytska, M., (2025) Advantages of comprehensive renovation of territorial communities in Ukraine in the context of spatial planning. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 4(1), 15–30. <http://dx.doi.org/10.15576/ASP.FC/200728>.
9. Kopishynska, O., Utkin, Yu., Sliusar, I., Flehantov, L., Somych, M., Yakovlieva, O., & Scryl, O. (2024). Geodata Processing Methodology on GIS Platforms when Creating Spatial Development Plans of Territorial Communities: Case of Ukraine. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 22(4), 33-40. <https://doi.org/10.54808/JSCI.22.04.33>.
10. Shevchuk, S., Prokopenko, N., Vynnyk, A., Mukhin, O., & Sitko, D. (2025) How can gis integration improve land management for sustainable development in territorial communities. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 103(15), 5819-5832. <https://doi.org/10.24425/gac.2021.136681>.
11. Evdokimov, A., Dolia, K., Rudomakha, A., & Palamar, E. (2019). Geoinformation analysis of the united territorial communities land use. *Geodesy and Cartography*, 68(2), 261-272. <https://doi.org/12.10.24425/gac.2019.131072>.
12. Mamonov, K., Sklyar, Iu., Pilicheva, M., Kasyanov, V., & Shyshkin, E. (2021) A model for assessing the regional land-use territorial development. *Geodesy and cartography*, 70(2). <https://doi.org/10.24425/gac.2021.136681>.
13. Станкевич, А. (2025). Сматр-урбаністика як концепція ефективного управління земельними ресурсами мегаполісу. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 56(1), 427-438. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).427-438](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).427-438).

14. Figurek, A., Semenov, A.V., Ronzhin, A., & Semenova, E.I. (2025). Smart Land Use for Territorial Restructuring: Digital Agriculture as a Tool for Rural Revitalization and Spatial Integration in Cyprus. *Land*, 14, 2409. <https://doi.org/10.3390/land14122409>.

15. Bianconi, F., Filippucci, M., Ceccaroni, S., & Cornacchini, F. (2025). Trasimeno Smart Land: 3D geospatial data integration for sustainable territorial management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W16-2025, 9-16. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W16-2025-9-2025>.

16. Верховна Рада України. (2020, 17 червня). Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо планування використання земель (Закон № 711-IX). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/711-20>.

17. Верховна Рада України. (2020, 13 квітня). Про національну інфраструктуру геопросторових даних (Закон № 554-IX). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20>.

18. Кабінет Міністрів України. (2021, 1 вересня). Про затвердження Порядку розроблення, оновлення, внесення змін та затвердження містобудівної документації (№ 926). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF>.

19. Пілічева, М. О., & Данилюк, А. А. (2025). Інтеграція аерокосмічних даних у національну інфраструктуру геопросторових даних: сучасний стан та перспективи розвитку. *Науковий вісник будівництва*, 113, 249-256. <https://doi.org/10.33042/2311-7257.2025.113.1.30>.

20. Ковальчук, І. П., & Ковальчук, А. І. (2024). Картографічне забезпечення функціонування територіальних громад. *Землеустрій і топографічна діяльність в умовах війни та післявоєнного відновлення і зміни клімату (GEOPOINT- 2024)* (с. 61-64). Національний університет біоресурсів і природокористування України. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u169/heopoint_tezu.pdf#page=61.

21. Кученко Б. (2026) Обмеження щодо використання земельних ділянок як недооцінений інструмент охорони природи. https://drive.google.com/drive/folders/1dmV77nU1_TWID_KuT58f5EjjoRJhUBpB.

References

1. Stupen, O. I., Prokopenko, N. I., & Shevchuk, S. M. (2025) Tsyfrova transformatsiia systemy zemleustroiu: avtomatyzatsiia upravlynskykh protsesiv u sferi vykorystannia ta okhorony zemelnykh resursiv. [Digital transformation of the land management system: automation of management processes by using and protecting land resources]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainського derzhavnoho universytetu zaliznychnoho transportu – Collection of scientific works of the Ukrainian State University of Railway Transport*, 212, 172-184. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.212.2025.336296>.

2. Biliavskiy, M.O. (2025) Rozrobka metodyky tsyfrovoho modeliuvannia zemlekorystuvan ta zemlevolodin hromady. [Development of a methodology for digital modeling of community land use and land ownership.] *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky – Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*, 1(10), 133-139. <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-1-22>.

3. Kyrylyuk, V., Rozhi, T., Khariv, V. (2023) Heodezychne planuvannya v ahrolandshafti: stvorennia tsyfrovyykh kart ta modeley dlya optymizatsiyi zemlekorystuvannya [Geodetic planning in agricultural landscape: creation of digital maps and models for land use optimization]. *Prostorovyy rozvytok – Spatial development*, 6, 293–308. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2023.6.293-308>.

4. Braslavskaya, O. V. (2025). HIS -tekhnologiyi ta dystantsiyne zonduvannya u monitorynhu zmin zemlekorystuvannya [GIS technologies and remote sensing in monitoring land use changes]. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya – Urban planning and territorial planning*, 89, 472–487. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2025.89.472-487>.

5. Nestrenko, S. H., Bastruk, O. V., Demochko, I. O., & Frolov, O. V. (2025). Heoinformatsiyni pidkhid do inventaryzatsii ta otsinky efektyvnosti vykorystannia zemel riznoho tsilovoho pryznachennia z urakhuvanniam prostоровykh obmezhen [A geo-informational approach to inventory and assessment of the effective land use for various purposes, taking into account spatial limitations]. *Komunalne hospodarstvo mist – Utilities of cities*, 6(194), 271-277. <https://doi.org/10.33042/3083-6727-2025-6-194-271-277>.

6. Nesterenko, S. H., Bastruk, O. V., Demochko, I. O. (2025). Indykativnyy pidkhid v heoinformatsiynykh systemakh do monitorynhu efektyvnosti vykorystannia zemel z prostоровymy obmezhenyamy [Indicative approach in geoinformation systems to monitoring the efficiency of land use with spatial constraints]. *Naukovyy visnyk budivnytstva – Scientific Bulletin of Construction*, 113, 238-248. DOI: 10.33042/2311-7257.2025.113.1.2.

7. Datsenko, L., Dubnytska, M., Mikhno, O., Poliakova, N., Sytnyk, M., Titova, S. (2025). Analyzing Slope Steepness for Sustainable Agricultural Land Management in the Vinnytsia Urban Territorial Community Using GIS. *5th EAGE Workshop on assessment of landslide hazards and impact on communities*, 1-5. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025520002>.
8. Datsenko, L., Titova, S., Dubnytska, M. (2025). Advantages of comprehensive renovation of territorial communities in Ukraine in the context of spatial planning. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 4(1), 15–30. <http://dx.doi.org/10.15576/ASP.FC/200728>.
9. Kopishynska, O., Utkin, Yu., Sliusar, I., Flehantov, L., Somych, M., Yakovlieva O., Scryl O. (2024). Geodata Processing Methodology on GIS Platforms when Creating Spatial Development Plans of Territorial Communities: Case of Ukraine. *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics*, 22(4), 33-40. <https://doi.org/10.54808/JSCI.22.04.33>
10. Shevchuk, S., Prokopenko, N., Vynnyk, A., Mukhin, O., Sitko, D. (2025). How can gis integration improve land management for sustainable development in territorial communities. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 103, 15, 5819-5832. <https://doi.org/10.24425/gac.2021.136681>.
11. Evdokimov, A., Dolia, K., Rudomakha, A., Palamar, E. (2019). Geoinformation analysis of the united territorial communities land use. *Geodesy and Cartography*, 68(2), 261-272. DOI: <https://doi.org/12.10.24425/gac.2019.131072>.
12. Mamonov, K., Sklyar, Iu., Pilicheva, M., Kasyanov, V., Shyshkin, E. (2021). A model for assessing the regional land-use territorial development. *Geodesy and cartography*, 70, 2. <https://doi.org/10.24425/gac.2021.136681>.
13. Stankevych, A. (2025). Smatr-urbanistyka yak kontseptsiiia efektyvnoho upravlinnia zemelnymy resursamy mehapolisu. [Smart urbanism as a concept of effective management of land resources of the metropolis]. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva – Ways to improve construction efficiency*, 56(1), 427-438. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).427-438](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).427-438).
14. Figurek, A., Semenov, A. V., Ronzhin, A., Semenova, E. I. (2025). Smart Land Use for Territorial Restructuring: Digital Agriculture as a Tool for Rural Revitalization and Spatial Integration in Cyprus. *Land*, 14, 2409. <https://doi.org/10.3390/land14122409>.
15. Bianconi, F., Filippucci, M., Ceccaroni, S., Cornacchini, F. (2025). Trasimeno Smart Land: 3D geospatial data integration for sustainable territorial management. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W16-2025, 9-16. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W16-2025-9-2025>.
16. Pro vnesennya zmin do deyakykh zakonodavchykh aktiv Ukrayiny shchodo planuvannya vykorystannya zemel terytorialnykh hromad [On the Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine Regarding Land Use Planning of Territorial Communities], Law of Ukraine of 17. 06. 2022 № 711-IX. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/711-20#Text>.
17. Pro natsionalnu infrastrukturu heoprosorovykh danykh [About the National Geospatial Data Infrastructure], Law of Ukraine of 13.04.2020 № 554 <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20#Text>.
18. Poryadok rozroblennya, onovlennya, vnesennya zmin ta zatverdzhennya mistobudivnoyi dokumentatsiyi [Procedure for developing, updating, amending and approving urban planning documentation], Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 01.09.2021 № 926. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/926-2021-%D0%BF#Text>.
19. Pilicheva, M. O., Danylyuk, A. A. (2025). Intehratsiya aerokosmichnykh danykh u natsional'nu infrastrukturu heoprosorovykh danykh: suchasnyy stan ta perspektyvy rozvytku [Integration of aerospace data into the national infrastructure of geospatial data: current status and development prospects]. *Naukovyy visnyk budivnytstva – Scientific Bulletin of Construction*, 113, 249-256. DOI: 10.33042/2311-7257.2025.113.1.30.
20. Kovalchuk, I. P., Kovalchuk, A. I. (2024). Kartografichne zabezpechennya funktsionuvannya terytorialnykh hromad [Cartographic support for the functioning of territorial communities]. Proceedings from GEOPOINT – 2024: III Mizhnar. nauk.-prakt. konf. “Zemleustriy i topografichna diyalnist v umovakh viyny ta pislyavoyennoho vidnovlennya i zminy klimatu” – III Int. scient. and prac. conf “Land management and topographic activities in conditions of war and post-war recovery and climate change (GEOPOINT – 2024)” (pp. 61-64). National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u169/heopoint_tezy.pdf#page=6.

21. Kuchenko, B. (2026). *Obmezheniya shchodo vykorystannya zemelnykh dilyanok yak neodotsinenyy instrument okhorony [Land-use restrictions as an underutilized tool for nature conservation]*. https://drive.google.com/drive/folders/1dmV77nU1_TWID_KuT58f5EjjoRJhUBpB.

Дата першого надходження статті до видання: 22.02.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.03.2026

UDC 528.7:332

Myroslav Kravchuk

Postgraduate Student at Department of Cadastre of Territory, Institute of Geodesy
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: myroslav.o.kravchuk@lpnu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8743-8715>

INTEGRATION OF EARTH REMOTE SENSING DATA AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS IN THE FORMATION OF DIGITAL LAND USE OF THE MODELS FOR TERRITORIAL COMMUNITIES

The article highlights the urgent problem of information support for land resource management of territorial communities in the context of reforming the land relations system, decentralization of power, and the post-war recovery of Ukraine. The article analyzes the state of the existing topographic and geodetic base and the shortcomings of the State Land Cadastre data, which often contain spatial errors and do not reflect the actual state of land use. Open multispectral satellite data from the Sentinel-2 mission (Copernicus program), aerial survey materials, and QGIS software are determined as the foundation for digital land use models of territorial communities. A concept for forming a digital model of a community's land bank is proposed, which is considered a dynamic multidimensional system rather than a static map. The technological process of creating a digital land use model is described, which includes five key stages (preparatory stage or collection and audit of input data; primary processing stage or formation of a geodatabase; analytical and synthesizing stage (spatial modeling); applied stage (implementation and monitoring)). The integration of geospatial data is considered as a technological process of bringing heterogeneous spatial information (raster remote sensing data, vector cadastral maps, aerial survey results) to a unified coordinate system and topological consistency within a geographic information system (GIS) environment for the purpose of comprehensive modeling and analysis of the territory. A structural and logical scheme for the integration of multi-sensor remote sensing data and cadastral information in a GIS environment is proposed. It is noted that topology rules are applied to eliminate errors in the geometry of objects: checking for overlaps where boundaries of one land plot cross into another, gaps between common boundaries of adjacent plots, and vertex snapping of vector objects to the nodes of the base layer within a specified tolerance. The identification of spatial changes and the structuring of land use were carried out according to the methodology of automated interpretation of Earth Remote Sensing (ERS) data based on the calculation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which allowed for a clear delineation of vegetation cover from urbanized areas and water bodies based on the spectral brightness of pixels. A digital model of the Rivne territorial community is presented as a multilevel spatial database that contains various objects and ensures their processing, analysis, and visualization for solving tasks of spatial planning, infrastructure management, and environmental protection.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS); Earth Remote Sensing (ERS); digital land use model; overlay analysis; land cadastre; spatial planning; "digital twin".

Fig.: 3. Table: 1. References: 21.