

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., професора Зацерковного Віталія Івановича на дисертаційну роботу **Четверікова Бориса Володимировича** «**МЕТОДОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДЗЗ І ГЕОРАДАРНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**»,

що подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.04 – Кадастр та моніторинг земель 05 - Технічні науки

Актуальність теми. Землі історико-культурного призначення є важливими з точки зору культурного і наукового значення, і їхня втрата або пошкодження може призвести до незворотних змін у національному надбанні.

Використання дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дозволяє отримувати актуальну інформацію про поверхню землі, забезпечуючи можливість регулярного моніторингу великих територій без необхідності фізичного втручання. Георадарне знімання, в свою чергу, дозволяє виявляти та досліджувати підземні структури без порушення ґрунту, що є особливо важливим для збереження археологічних об'єктів. Спільне застосування цих методів сприяє створенню комплексної картини стану земель історико-культурного призначення та забезпечує раннє виявлення змін, які можуть впливати на ці об'єкти. Методологія використання ДЗЗ та георадару також допомагає у вирішенні завдань прогнозування та попередження потенційних загроз (як-от ерозія ґрунтів, зміни вологого режиму або антропогенний вплив), що дозволяє більш ефективно планувати заходи з консервації.

Наукове значення отриманих результатів, їх новизна. Наукове значення отриманих результатів полягає у створенні інноваційної методології для моніторингу земель історико-культурного призначення з використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та георадарного знімання. Ця методика дозволяє забезпечити безконтактний та комплексний підхід до аналізу стану таких територій, підвищуючи точність виявлення змін і потенційних загроз для об'єктів культурної спадщини.

Дисертація присвячена розробці методологічних основ і створенню інформаційно-технологічних моделей для моніторингу земель історико-культурного призначення з використанням даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та георадарного знімання. У дослідженні вперше доведено ефективність інтеграції методів ДЗЗ та георадарного знімання, що дало змогу побудувати концептуальну модель моніторингу земель історико-культурного призначення. Запропоновано математичну модель для поєднання радіолокаційних та георадарних даних, а також створено програмну реалізацію системи, яка інтегрує 3D-моделі поверхневих та підземних елементів об'єктів, забезпечуючи точне визначення їх історичних меж.

Крім того, у дисертації вдосконалено технологічні моделі супутникової інтерферометрії та георадарного знімання, а також розширено методику опрацювання різнорідних даних для моніторингу об'єктів культурної спадщини. Дослідження також внесло нові підходи до створення цифрових

моделей площинних історико-культурних об'єктів на основі даних аерознімання та лідарного сканування з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що сприяє більш точному та ефективному моніторингу й збереженню таких об'єктів.

Практичне значення результатів роботи. Розроблені моделі, методи та технології суттєво підвищують ефективність вирішення практичних завдань, пов'язаних із збереженням та моніторингом об'єктів історико-культурної спадщини. Цей комплексний підхід дозволяє здійснювати точне визначення меж об'єктів, ідентифікувати їхні підземні елементи, а також відслідковувати вертикальні зміщення земної поверхні на території цих об'єктів, що є особливо важливим для збереження історичних пам'яток у їхньому автентичному стані. Застосування розроблених рішень дозволяє більш оперативно реагувати на виявлені загрози та адаптувати процеси моніторингу під специфіку кожного об'єкта, враховуючи його культурну цінність та фізичні особливості.

Результати дослідження можуть мати широке практичне застосування в системі управління історико-культурною спадщиною, особливо в рамках роботи органів державної влади та місцевого самоврядування, що відповідають за формування технічних вимог та організацію науково-проектних досліджень. Використання цих результатів забезпечує підґрунтя для розробки нормативних документів та проведення систематичного моніторингу стану об'єктів, їхніх територій та земель історико-культурного призначення. Апробація результатів була проведена на реальних об'єктах, таких як ансамбль оборонних споруд «Львівська цитадель» у Львові та історико-культурний заповідник «Древній Звенигород» у селі Звенигород Львівської області, що підтверджує ефективність розроблених методик. Окрім цього, результати дослідження активно використовуються в освітньому процесі підготовки спеціалістів магістерського рівня за програмою «Геоінформаційні системи і технології» у Національному університеті «Львівська політехніка», сприяючи підвищенню рівня фахової підготовки студентів у галузі геоінформаційних технологій.

Відповідність паспорту спеціальності. Дисертаційна робота Четверікова Б.В. є завершеною науковою працею, а зміст роботи відповідає паспорту спеціальності 05.24.04 – Кадастр та моніторинг земель. Дослідження зосереджено на вдосконаленні топографо-геодезичного та картографічного забезпечення робіт для кадастру і моніторингу земель із залученням сучасних технологій, зокрема дистанційного зондування Землі, GPS-вимірювань, цифрової фотограмметрії та геоінформаційних систем.

Оцінка змісту та оформлення дисертаційної роботи, її завершеність

Дисертація Четверікова Б.В. складається із анотації, вступу, п'яти розділів основної частини, загальних висновків, списку літературних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 312 сторінок машинописного тексту, з них: 247 сторінок основної частини, 16 сторінок анотації, 103 рисунків, 14 таблиць, 35 сторінок - 293 позиції списку літературних джерел і 5 додатків на 12 сторінках.

У **вступі** наведено актуальність теми, визначено мету, зазначено зв'язок роботи з науковими планами, з'ясовано стан дослідження проблеми, на розв'язання якої спрямовується науковий пошук, об'єкт і предмет дослідження, розкрито наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, подано інформацію щодо апробації та публікації результатів дослідження.

У **першому розділі «Аналіз застосування дистанційних та неінвазивних методів досліджень у вивченні земель історико-культурного призначення»** проаналізовано сучасні дистанційні і неінвазивні методи для дослідження земель історико-культурного призначення, які мають важливе культурне та наукове значення. Встановлено, що наявна система обліку культурних об'єктів потребує вдосконалення, зокрема, через відсутність єдиної системи даних і правові розбіжності. Для ефективного моніторингу цих територій використовуються методи супутникового та аерознімання, лідарного сканування й георадару, що дозволяють оперативно відстежувати зміни поверхні, виявляти підземні структури та формувати 3D-моделі об'єктів.

У **другому розділі «Теоретичні положення визначення вертикальних зміщень землі та підземних аномалій»** охоплюються методологічні аспекти визначення вертикальних зміщень та виявлення підземних аномалій за допомогою радіолокаційного і георадарного знімання. Особлива увага приділена застосуванню різних типів хвильових процесів, таких як радіохвилі та електромагнітні імпульси, для дослідження геодинамічних процесів без безпосереднього втручання в середовище. Застосування технологій InSAR та GPR дозволяє ефективно виявляти зміни у рельєфі й оцінювати структуру підземних об'єктів, що особливо актуально для досліджень історико-культурних зон. Завдяки використанню сучасних інтерферометричних методів, зокрема диференційованої радіолокаційної інтерферометрії, та високочастотного георадарного знімання стає можливим моніторинг деформацій ґрунтів і структур на основі аналізу відбитих сигналів. Для підвищення точності досліджень запропоновано комбінований підхід із застосуванням вагових коефіцієнтів, що забезпечує інтеграцію даних з різних джерел і дозволяє сформуванню більш повну картину про підземні аномалії та динамічні зміни земної поверхні.

Третій розділ «Використання даних дистанційного зондування Землі та георадару для моніторингу земель історико-культурного призначення» демонструє ефективність застосування даних дистанційного зондування (ДЗЗ) та георадарного знімання для моніторингу земель історико-культурного призначення. Використання таких методів є необхідним через труднощі, пов'язані з недостатнім фінансуванням і технічним забезпеченням, а також через ризики урбанізації та неконтрольованої забудови, що загрожують цілісності культурної спадщини. Синергія супутникових даних, аерозйомки й наземних методів, таких як георадарне знімання, дозволяє точно ідентифікувати підземні структури, вертикальні зміщення та інші аномалії, що мають значення для охорони культурних об'єктів. Такий комплексний підхід до моніторингу культурних об'єктів випробувано на львівських локаціях, «Львівській цитаделі» та Звенигородському городищі, де результати досліджень підтвердили наявність важливих підземних структур та допомогли окреслити пріоритети для подальшого збереження й реставрації.

У четвертому розділі *«Застосування даних, отриманих з БПЛА, для побудови і аналізу цифрових моделей поверхні об'єктів історико-культурної спадщини»* проведено дослідження даних, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що дозволяють з високою точністю створювати цифрові моделі поверхні (ЦМП) об'єктів історико-культурної спадщини. Такий підхід забезпечує деталізоване відтворення рельєфу та структури об'єктів, що сприяє їхньому ефективному збереженню, моніторингу та управлінню. Проведення аерознімання та лазерного сканування на території, наприклад, історико-культурного заповідника "Древній Звенигород" з використанням квадрокоптерів DJI і сканерів L2 та Alpha Air 450, засвідчило високу точність побудованих моделей навіть на складних ділянках. Результати також продемонстрували, що лідарні дані забезпечують більш плавні контури рельєфу порівняно з аерозніманням, особливо у районах з густою рослинністю. В результаті проведених досліджень, розроблено концептуальну модель використання даних дистанційного зондування Землі та георадару для вивчення земель історико-культурного призначення. Розроблена модель дозволяє ефективно інтегрувати дані різних джерел та методів дослідження, що забезпечує комплексний підхід до вивчення та моніторингу земель історико-культурного призначення

У п'ятому розділі *«Розробка програмного забезпечення для напівавтоматичного визначення областей інтересу та створення загальної 3D-моделі об'єктів історико-культурної спадщини»* описується розробка програмного інструменту для часткової автоматизації визначення ключових зон інтересу (АОІ) та створення комплексної 3D-моделі об'єктів історико-культурної спадщини. Основною метою є напівавтоматичне визначення областей інтересу з використанням георадарних даних і ЦМП, побудова 3D-моделі об'єкта та точне уточнення меж об'єктів. Розроблена технологічна схема модуля 3DDEM&RADAR включає блоки автоматизованого визначення АОІ з інтерферограм, побудови комплексної 3D-моделі та формування охоронних зон. Інтерфейс модуля дозволяє користувачам візуалізувати моделі у реальному часі та взаємодіяти з ними, що спрощує процес дослідження та управління даними. Тестування на реальних даних Львівської цитаделі підтвердило ефективність і точність модуля у виділенні підземних структур, побудові 3D-моделей та експорту меж у форматі DXF для подальшого використання у ГІС або CAD-середовищах.

Повнота викладення матеріалів дисертації у публікаціях. Основні положення дисертації опубліковано у 41 науковій праці, із них: 6 - статей у наукових періодичних виданнях, які внесені до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science; 7 - статей у наукових фахових виданнях України, які внесені до міжнародних наукометричних баз даних; 5 - статей у наукових фахових виданнях України; 1- монографія; 1- стаття у інших виданнях України; 5 - публікації у збірниках матеріалів конференцій, що входять до наукометричної бази даних Scopus; 16 - публікації у збірниках матеріалів конференцій.

Недоліки та зауваження до змісту дисертації:

- 1) Робота може виграти від детальнішого пояснення використання конкретних методів дистанційного зондування та георадарного знімання у контексті земель історико-культурного призначення, зокрема щодо їх ефективності порівняно з іншими методами.
- 2) В розділі 2, важливо було б розглянути приклади міжнародного досвіду застосування подібних методів моніторингу, що додасть роботі ширший контекст і дозволить оцінити можливості адаптації іноземних практик в Україні.
- 3) В розділі 3 для підвищення об'єктивності слід було б більше акцентувати на обмеженнях і потенційних ризиках застосування георадарного знімання в умовах різних типів ґрунтів і поверхонь.
- 4) На нашу думку більше уваги слід було б приділити інтеграції результатів досліджень у національну інфраструктуру геопросторових даних, адже це є важливим для практичного застосування напрацьованої роботи.
- 5) На нашу думку, в роботі слід було б включити детальнішу оцінку результатів роботи з конкретними показниками, які демонструють якісні та кількісні переваги запропонованих методів і технологій порівняно з традиційними методами дослідження.

Наведені зауваження і побажання, не є суттєвими і не зменшують позитивного враження від дисертаційної роботи, яка представляє собою цілісне і завершене наукове дослідження.

Висновок про відповідність дисертації вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук

З огляду на актуальність, новизну, важливість одержаних автором результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків вважаю, що дисертаційна робота Четверікова Бориса Володимировича «Методологія використання даних ДЗЗ і георадарного знімання для моніторингу земель історико-культурного призначення» є самостійним, завершеним науковим дослідженням, у якому вирішена важлива науково-прикладна проблема наукового обґрунтування та методологічних основ використання даних дистанційного зондування Землі і георадарного знімання для моніторингу земель історико-культурного призначення.

Викладене дає підстави зробити загальний висновок, що здобувач Четверіков Б.В. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.04 *Кадастр та моніторинг земель*, 05 *технічні науки*.

Офіційний опонент
Доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри геоінформатики
ННІ «Інститут геології»
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка



Віталій ЗАЦЕРКОВНИЙ

21.11.2024р.

Віталій Зацерковний