ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ЖЕНЬ ЛЕЯ

«**Застосування методів ДЗЗ для моніторингу використання земель сільськогосподарського призначення**»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю

193 – Геодезія та землеустрій

Детальний аналіз дисертації ЖЕНЬ Лея **«ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ДЗЗ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ»**, а також його наукових публікацій, дозволяє сформувати результати щодо актуальності, наукового рівня, обґрунтованості наукових положень, наукової новизни, висновків і рекомендацій, практичного значення і загальної оцінки роботи.

Актуальність обраної теми здобувача

Актуальність теми дисертаційного дослідження зумовлена потребою у забезпеченні оперативного виявлення змін площ типів земельного покриву для здійснення моніторингу земель сільськогосподарського призначення з використанням хмарної технології Google Earth Engine та геоінформаційного моделювання.

Отримання інформації про просторовий розподіл і зміни сільськогосподарських земель у режимі реального часу має вирішальне значення для сприяння інформатизації та дослідження аграрного виробництва в цілому. Наразі використання технології дистанційного зондування для отримання інформації про стан земель сільськогосподарського призначення успішно впроваджується в багатьох практичних проектах. Різноманітність і доступність даних ДЗЗ надають широкий спектр джерел для моніторингу сільськогосподарських угідь.

Для забезпечення сучасних технологій моніторингу фахівці прагнуть інтегрувати дані ДЗЗ з багатьох джерел і повністю використовувати переваги різних модальностей і даних з різним просторовим розрізненням.

У зв’язку з цим тема дисертаційного дослідження ЖЕНЬ Лея є безперечно, актуальною та своєчасною. Проведені дослідження дозволили розробити та реалізувати методику, яка забезпечує підвищення ефективності моніторингу земель сільськогосподарського призначення на основі використання методів ДЗЗ хмарної технології Google Earth Engine та геоінформаційного моделювання.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційного дослідження

Наукові положення, представлені у роботі, є обгрунтованими, проведені теоретичні, емпіричні та практичні дослідження забезпечили підвищення ефективності моніторингу земель сільськогосподарського призначення. Запропоновані висновки та рекомендації є добре виваженими, аргументованими та чітко поясненими.

Автором дисертаційного дослідження розроблено технологічну модель застосування методів ДЗЗ для забезпечення моніторингу земель сільськогосподарського призначення, яка передбачає використання платформи GEE для оперативного опрацювання супутникових зображень та інтерпретації отриманих результатів класифікації і тематичних індексів.

Здобувач забезпечив належний рівень обґрунтованості запропонованих наукових положень на основі грамотного використанням загальнонаукових та спеціальних методів, що дозволило досягти поставленої мети дослідження.

Достовірність основних положень

Достовірність основних положень, викладених у роботі, підтверджується наступним:

- висновками, отриманими автором при аналізі теоретичних робіт і практичних напрацювань за обраною тематикою;
- застосуванням у дослідженні загальних та спеціальних наукових методів: узагальнення, порівняльного аналізу, систематизації, попереднього оброблення даних, керованої класифікації, математичної статистики, теорії матриць, інших;
- завдяки високій точності класифікації типів земельного покриву виконано аналіз виявлених змін досліджуваної території;
- результати дослідження реалізовано у науково-дослідній роботі кафедри геоінформатики і фотограмметрії КНУБА на тему «Інфраструктура геопросторових даних для сталого розвитку територіальних громад», державний реєстраційний номер: 0122U201382; дата реєстрації: 06.11.2022 р.

Отже, наведені аргументи свідчать про те, що основні положення дисертації достовірні й науково обґрунтовані.

Наукова новизна одержаних результатів

Вагомість наукової новизни підтверджують наступні одержані результати:

- обґрунтовано вибір хмарної технології GEE для моніторингу земель сільськогосподарського призначення;
- встановлено, що завдяки підтримці масивної бази даних GEE і потужних можливостей обробки даних, платформа хмарних обчислень GEE може

швидко й ефективно створювати й обробляти численні безхмарні смуги зображень часових рядів ДЗЗ, генерувати куби та застосувати алгоритм випадкового лісу в класифікаторах машинного навчання;

- отримані результати класифікації земель сільськогосподарського призначення мають високу точність та можуть використовуватись для аналізу виявлення змін, трансформації угідь, динамічного моніторингу, оцінювання стану земель та сільськогосподарських культур;

- розроблено методику виконання керованої класифікації ансамблевим методом машинного навчання Random Forest, що сприяє досить швидкому обробленню даних ДЗЗ, зокрема на всю територію України станом на 2000, 2014 та 2021 роки;

- розроблено та реалізовано метод швидкого збору еталонів для проведення класифікації, який базується на створеному коді програмування в хмарній платформі GEE; це забезпечило онлайн отримання даних ДЗЗ з хмарної платформи GEE;

- створено та впроваджено методику визначення точності результатів керованої класифікації ансамблевим методом машинного навчання Random forest, на основі якої було виконано оцінку точності результатів керованої класифікації земель сільськогосподарського призначення. Визначена загальна точність класифікації становила 82 – 86%;

- на основі отриманих результатів проведено аналіз площ та структури земель сільськогсподарського призначення в Україні з 2000 по 2021 рік. Визначено, що частка земель, які перебувають у сільськогосподарському виробництві становить понад 59%. Частка інших земель, зокрема лісів і луків має тенденцію до зростання, земель під забудовою та оброюлюваних земель - мають тенденцію до зниження. Відмічена трансформація лісових угідь в сільськогосподарські угіддя і навкпаки. Визначено географічний розподіл і тенденції в особливостях розподілу площ оброблюваних земель.

Практичне значення виконаних досліджень

Результати дисертаційного дослідження ЖЕНЬ Лея мають досить високе практичне значення. Вони можуть бути використані для інтегрованої обробки та паралельних обчислень з метою моніторингу земель сільськогосподарського призначення, що значно підвищить ефективність роботи, заощадить простір локального зберігання та ефективно вирішить трудоємкий процес отримання і класифікації космічних знімків.

До суттєвих практичних досягнень роботи належать:

- розроблена методика проведення керованої класифікації ансамблевим методом машинного навчання Random Forest, що дозволяє досить швидко опрацьовувати супутникові зображення на всю територію України;

- розроблений і реалізований метод швидкого збору еталонів, який базується на створеному коді програмування в хмарній платформі GEE, в той

час як дані ДЗЗ, що використовуються, отримуються онлайн з хмарної платформи GEE;

- обґрунтована, створена та реалізована методика оцінювання ефективності керованої класифікації, проведеної ансамблевим методом машинного навчання Random Forest. Методика забезпечує високу точність результатів керованої класифікації.

Повнота викладу матеріалів в опублікованих працях

За темою дисертаційного дослідження здобувачем опубліковані 6 наукових публікацій: 3 із них – статті в наукових фахових виданнях України, 3 – наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації. Зміст публікацій відповідає заявленим завданням, об'єкту і предмету дослідження.

Якість і кількість публікацій повністю відповідає вимогам п.8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії».

Оцінка змісту, стилю та мови дисертації, її завершеності, оформлення

Представлена до розгляду дисертаційна робота складається з таких частин: анотації, вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел зі 138 найменуваннями. Загальний обсяг роботи складає 156 сторінок, із яких 129 сторінок основного тексту, 30 рисунків, 14 таблиць, з яких на окремих сторінках 1 рисунок і 2 таблиці. У додатку наведено акт про впровадження результатів дисертаційного дослідження.

У **вступі** автором обґрунтована актуальність теми дослідження. Визначено мету дослідження, що відповідає обраній темі, і яку розкрито в завданнях дослідження. Предмет дослідження узгоджено з назвою роботи та об'єктом дослідження. Визначена наукову новизну та практичне значення проведеного дослідження. Відображено результати апробації отриманих результатів.

У першому розділі **"АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ДЗЗ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ"** відображено огляд сучасних досліджень, пов'язаних із використанням методів ДЗЗ для моніторингу земель сільськогосподарського призначення. Розглянуті джерела даних, їх походження та властивості. Визначена роль даних наземного обстеження та статистичного аналізу.

Проаналізовані особливості застосувань даних космічних зйомок та БПЛА для моніторингу сільськогосподарських земель, визначені їхні переваги та встановлені певні обмеження у використанні.

Відображені перспективні тенденції розвитку застосування методів ДЗЗ для задач моніторингу в аграрному виробництві. Обгрунтоване комплексне застосування технології дистанційного моніторингу земель

сільськогосподарського призначення на національному та регіональному рівнях.

У другому розділі **“ТЕХНОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ДЗЗ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗЕМЕЛЬ ЗАСОБАМИ GEE”** розглянуті традиційні платформи для завантаження даних ДЗЗ та обгрунтовані їхні недоліки. Висвітлені підходи до розроблення та застосування хмарних платформ для обчислень на основі даних ДЗЗ.

Детально відображені характеристики та особливості сучасних хмарних платформ для оброблення даних ДЗЗ, у тому числі хмарна платформа Google.

Автором обгрунтовано технологічну модель дослідження, яка передбачає використання платформи GEE для оперативного опрацювання супутникових зображень та інтерпретації отриманих результатів класифікації і тематичних індексів. Детально розглянуті дані, використані в дослідженні, подані їх джерела та опис.

Обгрунтовані підстави для вибору території дослідження. Визначено, що існує потреба в комплексному дослідженні, оскільки зміна земельного покриву – це складний процес, на який впливає поєднання природних та антропогенних факторів.

У розділі описані принципи та процедури опрацювання даних. Розроблена власна методика оброблення даних ДЗЗ для забезпечення моніторингу земель сільськогосподарського призначення.

Пошукачем запропоновано та розроблено методику виконання керованої класифікації ансамблевим методом машинного навчання Random Forest, що дозволило досить швидко опрацювати супутникові зображення на всю територію України станом на 2000 та 2021 роки. Представлені результати класифікації та перевірки точності проведення керованої класифікації.

Третій розділ **“АНАЛІЗ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ ЗМІН ПОКРИВУ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ В УКРАЇНІ, 2000-2021 РР.”** включає практичну апробацію результатів досліджень та аналіз отриманих результатів. Встановлено, що головною особливістю змін у землекористуванні за досліджуваний період 2000-2021 рр. виступало трансформування сільськогосподарських угідь в інші типи землекористування. Особливо значним був перехід до пасовищних земель.Такий стан відображає той факт, що структура землекористування в Україні переживає перехід від єдиного типу з домінуванням сільського господарства до більш диверсифікованої форми, а сільськогосподарські землі характеризуються абсолютним домінуванням.

У розділі відображені просторово-часові зміни типів земельного покриву, в тому числі земель сільськогосподарського призначення, для чого використана матриця трансформації землекористування з метою кількісного опису динамічних змін регіонального землекористування. Застосований метод дозволив не тільки виявити структурні характеристики змін у землекористуванні, але й кількісно оцінити масштаби та напрямки конверсії між різними типами землекористування, забезпечуючи наукове підґрунтя для поглибленого розуміння еволюції регіонального землекористування.

Узагальнюючи оцінку представленої роботи, доцільно визначити основні здобутки:

- обґрунтовано вибір хмарної технології GEE для забезпечення моніторингу земель сільськогосподарського призначення; визначено, що їй властива підтримка масивної бази даних і потужних можливостей обробки даних, що забезпечує ефективне оброблення даних часових рядів ДЗЗ;
- розроблено методику виконання керованої класифікації ансамблевим методом машинного навчання Random Forest, що сприяє досить швидкому обробленню даних ДЗЗ;
- розроблено метод швидкого збору еталонів для проведення класифікації, який базується на створеному коді програмування в хмарній платформі GEE і забезпечує онлайн отримання даних ДЗЗ з хмарної платформи GEE.

Доцільно зазначити певні зауваження та побажання:

1. У дисертаційні роботі мають місце терміни, яким властивий не зовсім коректний переклад з англійської мови, що спричинює певні труднощі трактування, також присутні технічні й граматичні помилки:
   - "сільськогосподарська земля має багаті морфологічні та фенологічні характеристики...". У сільськогосподарському виробництві використовують окремі поняття - "грунт" (це природне тіло, що складається з твердої фази, рідини і газів, утворюється на поверхні землі, характеризується одним чи двома послідовними горизонтами, здатне підтримувати коріння рослин в природному середовищі), "землі сільськогосподарського призначення" (категорія земель земельного фонду, до якої належать усі землі, надані для потреб сільського господарства або призначені для вказаних цілей), "посів сільськогосподарських культур" (сукупність рослин, що вирощуються на окремому полі);
   - "культивовані землі" - не зовсім зрозуміло, у якому контексті застосований даний термін. Це можуть бути поля з культурами на них, поля після збирання врожаю, зорані поля без культур (чисті пари). Це потрібно враховувати при класифікації;
   - не зовсім коректним є вираз "поверхневе відбиття", тощо.

2. Досить складно сприймається структура 2 розділу, який включає: аналіз платформ хмарних обчислень, платформ для завантаження даних ДЗЗ; огляд модельної території, характеристику даних для проведення дослідження; побудову системи класифікації, проведення керованої класифікації; перевірку точності класифікації. Доцільно було б створити окремі розділи, які передбачають з одного боку характеристику модельної території, огляд платформ для хмарних обчислень, розроблення методик і технології проведення класифікації та перевірку точності класфикації.
3. Не повністю поділяю думку щодо трактування спектрального індексу, як "технічного засобу для посилення характеристик цільових ознак шляхом

математичного поєднання різних діапазонів". В роботі використані вегетаційні індекси (ВІ), тому в найбільшій мірі їм притаманні визначення, пов'язані зі станом рослинності: зокрема ВІ - це показник, який розраховується в результаті виконання математичних операцій з різними спектральними каналами й характеризує параметри рослинності у даному пікселі знімка; або це - безрозмірне радіометричне значення, яке відображує відносну потужність й активність розвитку зеленої рослинності, площі листкової поверхні, проективного вкриття, вмісту хлорофілу, зеленої біомаси, частку поглинутої фотосинтетично активної радіації (Huete & Justice). Не завжди при створенні ВІ відбувається посилення характеристик об'єкту, а самі індекси доцільно використовувати дуже обачно для ряду випадків (розріджена рослинність, атмосферні ефекти, вплив грунту, складний рельєф тощо), оскільки, наприклад, NDVI несе в собі лише частину інформації, яка доступна у первинних спектрах відбиття.

4. В роботі недостатньо приділено уваги джерелам похибок класифікації, зокрема впливу змішаних пікселів і можливості проведення суб-піксельної класифікації, впливу атмосфери, рельєфу.
5. Було б бажано проаналізувати та відобразити ті регіони, яким властива найбільша динаміка змін типів земельного покриву.
6. В роботі відсутні пропозиції щодо чіткого алгоритму впровадження розроблених методик у державну систему моніторингу.

Відповідність дисертації вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії»

Незважаючи на окремі дискусійні питання, дисертація **ЖЕНЬ Лея «Застосування методів ДЗЗ для моніторингу використання земель сільськогосподарського призначення»** повністю відповідає вимогам пунктів 5, 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Дисертаційне дослідження є його особистою роботою, а теоретичні й практичні результати дослідження вказують на суттєвий особистий внесок автора у вітчизняну науку.

Загальний висновок

Дисертація **ЖЕНЬ Лея «Застосування методів ДЗЗ для моніторингу використання земель сільськогосподарського призначення»** є завершеною науковою працею, яка містить суттєву наукову новизну та практичну цінність. Роботу представлено на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 – Геодезія та землеустрій; вона повністю відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44 та напрямку освітньо-наукової програми КНУБА із зазначеної спеціальності, а її автор – **ЖЕНЬ Лей** заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 193 – Геодезія та землеустрій.

Офіційний опонент,
д-р техн. наук, професор,
головний науковий співробітник
ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі»
Інституту геологічних наук НАН України — Світлана КОХАН

Підпис Світлани КОХАН засвідчую:
учений секретар ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”
к.т.н., старший дослідник — Анна ХИЖНЯК