

*До спеціалізованої вченої ради Д 26.205.01
при ІКД НАН України та ДКА України*

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Васильєва Володимира Володимировича
«Розробка інформаційних систем хмарної обробки
багатовимірних геопросторових даних»,

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.07.12 — Дистанційні аерокосмічні дослідження

Актуальність теми. Зростання обсягів супутникової інформації привело до необхідності істотно поліпшити технології роботи з даними дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) у низці різних аспектів, у тому числі стосовно підвищення рівня автоматизації процесів отримання і обробки даних, забезпечення підтримки власних архівів даних і використання можливостей зовнішніх систем, що надають різні обчислювальні ресурси для роботи з надвеликими архівами супутникових даних. При створенні інформаційних систем обробки геопросторових даних все гостріше стоїть завдання побудови комплексних процедур потокової обробки даних, які об'єднують в собі різні етапи роботи з інформацією. Крім цього, також потрібно організовувати управління роботою таких процедур і оптимізувати ефективність використання ними наявних обчислювальних ресурсів. При цьому підсистеми обробки повинні бути розраховані як на проведення потокової оперативної обробки багатовимірних даних, так і на обробку даних, що знаходяться в надвеликих розподілених архівах. Першорядного значення як для провайдерів, так і для користувачів набули механізми доставки і розподілу отриманих знімків. Об'єднання таких механізмів розподілу з хмарними технологіями надає широкі можливості з оброблення та розповсюдження даних ДЗЗ. Такі відповідні сервіси орієнтовані на масового користувача і не вимагають використання високопродуктивних суперкомп'ютерів і спеціалізованого програмного

ІНСТИТУТ КОСМІЧНИХ

ДОСЛІДЖЕНЬ

**НАТА 05.12. ВХ.П 7/280/1
2019**

забезпечення. Це є істотною перевагою у порівнянні з традиційними високопродуктивними системами обробки даних, такими як GRID-системи чи типові кластерні рішення. Таким чином, виникає необхідність у розробленні сучасних методів роботи з надвеликими розподіленими архівами супутниковых даних з використанням розвинених людино-машинних інтерфейсів, створених на основі WEB-технологій та хмарної інфраструктури, що й визначає актуальність теми дисертаційного дослідження В.В. Васильєва.

Зв'язок дисертації з науковими програмами й темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі комп'ютерних наук та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара відповідно до наукового напряму «Методи та інформаційні технології цифрової обробки багатоканальних даних» (Держбюджетна НДР 0116U001297). Інформаційна технологія хмарної обробки багатовимірних аерокосмічних зображень використовувалась у міжнародному проекті програми ЄБРР «Підтримка прозорого землекористування в Україні» («Supporting Transparent Land Governance in Ukraine») (2018-2019 р.).

Загальна характеристика структури й змісту роботи. Дисертація складається із анотацій, списку опублікованих праць автора за темою дисертації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У *вступі* міститься обґрунтування актуальності теми дисертаційного дослідження, вказано на зв'язок роботи з науковими програмами, темами, визначено мету і завдання роботи, методи дослідження, сформульовано наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, відзначено особистий внесок здобувача, а також вказуються дані про апробацію та публікації результатів дисертації.

Перший розділ роботи присвячено огляду сучасного стану розвитку методів та технологій обробки супутниковых даних. Здобувачем обґрунтовано необхідність розробки методів підвищення інформативності зображень на

основі злиття різнорідних (різночасових) даних. Розвиток мережевих технологій і вдосконалення засобів передачі даних створили основу для побудови Web-орієнтованих систем аналізу зображень. Автор доводить, що існує запит на розв'язання задач оперативного моніторингу та для великих територій, що потребує використання потужних обчислювальних ресурсів і реалізації програмного забезпечення на хмарних платформах. Тому доцільно застосувати сучасні технології віртуалізації і хмарних обчислень, комбіновані моделі зображень та алгоритми їх обробки. Автором здійснено постановку завдання та визначено основні напрями досліджень.

Другий розділ дисертації присвячений розробці методів попередньої обробки супутниковых даних та потоків оброблення даних, що можуть бути застосовані для перетворення супутникових зображень до рівня L2. Запропонований автором потік оброблення даних забезпечує підвищення інформативності первинних геопросторових даних. Перевірку ефективності методу здійснено на прикладі задачі моніторингу рослинності і водойм за супутниковими знімками надвисокого просторового розрізнення видимого та ІЧ-діапазонів DubaiSat2. Як основні кількісні показники точності класифікації були обрані матриця невідповідностей для двох класів і коефіцієнт Каппа. Точність автоматичної класифікації для різних тестових ділянок склала 86-93%, а значення коефіцієнта Каппа були в межах діапазону від 0.71 до 0.85, що свідчить про високу точність виділення меж розпізнаних об'єктів і добру роздільність класів рослинності і води на різних тестових ділянках при заданих порогах бінаризації.

Основним результатом розділу є удосконалений В.В. Васильєвим у підрозділі. 2.2 метод підвищення деталізації об'єктів на багатоканальних знімках, який ґрунтуються на основі ICA, HSV- та вейвлет-перетворень, що дозволяє суттєво збільшити вміст інформації первинних даних та не призводить до спотворень кольору. Відмінністю від відомих рішень є переведення вихідного мультиспектрального зображення у кольоровий простір HSV і обробка окремої яскравісної компоненти, оскільки застосування вейвлет-перетворення безпосередньо до всього зображення часто призводить до

артефактів. Отримані автором кількісні оцінки свідчать про те, що обробка супутниковых зображень за допомогою удосконаленого методу підвищення інформативності призводить до покращення якісних і кількісних показників багатоканальних зображень.

Основні результати *третього розділу* пов'язані з розробкою здобувачем хмарних інформаційних технологій обробки та оперативного моніторингу геопросторових даних високого і надвисокого просторового розрізnenня. Технології ґрунтуються на моделі обслуговування хмарних обчислень PaaS, яка надає споживачам можливість використання хмарної інфраструктури для розміщення базового програмного забезпечення з подальшим розміщенням на ньому нових або існуючих додатків. У розділі автором запропонована ефективна реалізація потоків обробки супутниковых даних у розподіленому режимі на хмарній платформі Amazon з використанням адаптованого формату зберігання даних. Для створення глобального покриття передбачається використання кількох зображень. Автор пропонує будувати архітектуру онлайн сервісу обробки супутниковых даних на основі сумісності з OpenStack платформами, що забезпечує високу масштабованість обчислювальних ресурсів. Перевагою запропонованої технології, на думку автора, є також надання користувачеві можливості в режимі реального часу побудови композитних кольорових і синтезованих зображень за даними багатоспектральної зйомки, доступ до карт найбільш поширеніх індексів та продуктів, а також можливість реалізації власних застосувань на основі API.

Четвертий розділ роботи присвячений розв'язанню прикладних задач на основі методів попередньої обробки із другого розділу та технології хмарної обробки даних та сервісу LandViewer із третього розділу. У підрозділі 4.1 автором запропоновано алгоритм аналізу наслідків незаконного видобутку бурштину за даними середнього просторового розрізnenня Landsat 7/ETM і Landsat 8/OLI, що ґрунтується на методі аналізу головних компонент. У підрозділах 4.2–4.3НІ наведено метод кількісної оцінки площі вирубки лісів і потоку обробки даних реалізації відповідного сервісу на хмарній платформі. До

складу потоку обробки даних входить формування маски хмарності за знімком, побудова індексних зображень NDVI, порогова бінаризація індексного зображення, морфологічна фільтрація бінарного зображення за знімком, векторизація бінарного зображення, визначення меж і площі рослинності, формування різницевого зображення, бінаризація, векторизація і визначення меж і площі вирубок, візуалізація змін на цифровій карті, запис атриутів об'єктів у DBF-файл і експорт векторного шару в KML-файл. На відміну від відомих методів визначення площ вигорілих територій за різночасовими супутниковими знімками, запропонована дисертантом технологія дозволяє більш точно визначати вигорілі ділянки завдяки незалежному визначенню порогів бінаризації для кожного знімка. Крім того, запропонований потік обробки даних дозволяє аналізувати часові зміни на постраждалих ділянках лісу для тривалих періодів спостереження, використовуючи створені векторні шари з атрибутивною інформацією.

Прикладний аспект теоретичних результатів роботи відображенено у підрозділах 4.4 і 4.5., у яких наведено розв'язання прикладних задач моніторингу посух та агротехнічних операцій з використанням хмарного сервісу із третього розділу. Моніторинг сільськогосподарських посух ґрунтуються на аналізі часових рядів метеорологічних показників та визначені вологості ґрунту за супутниковими даними. Інтенсивність посухи визначається шляхом порівняння даних за поточний вегетаційний сезон з багаторічними даними моніторингу. Ідея методу фіксації моменту закінчення збиральних робіт ґрунтуються на властивостях когерентності радарних знімків. Дисертантом у п. 4.5 переконливо показано, що закінчення збиральних робіт на полі супроводжується стрибкоподібним збільшенням когерентності. На думку автора, використання карт когерентності, отриманих у результаті обробки SLC-знімків Sentinel-1, дозволяє здійснювати моніторинг агротехнологічних робіт та визначати дати ключових подій на полі, визначати дати настання основних стадій розвитку рослин, виявляти відхилення тенденцій розвитку культури від запланованого ходу розвитку (пошкодження посівів внаслідок природних і техногенних надзвичайних ситуацій, повторний посів та ін.).

У додатках наведено список опублікованих праць здобувача за темою дисертації та документи впровадження результатів роботи.

Висновки є узагальненням основних результатів, отриманих здобувачем у межах досліджень, і сформульовані достатньо аргументовано.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні теоретичних та прикладних основ попередньої і тематичної обробки різноманітних багатовимірних геопросторових даних на базі хмарної архітектури. Виконані дослідження дозволили отримати такі основні наукові результати.

- Удосконалено метод попередньої обробки супутниковых даних на основі злиття даних та продуктів їх обробки з різних джерел, який відрізняється від відомих раніше здійсненням додаткової удосконаленої процедури підвищення інформативності багатоканального зображення.
- Удосконалено метод підвищення інформативності та деталізації об'єктів на багатоканальних супутниковых знімках на основі додаткової процедури аналізу незалежних компонент до відомих процедур перетворення моделі кольору, злиття з панхроматичним каналом та вейвлет-перетворення.
- Отримала подальший розвиток методологія визначення ефективності методів обробки супутниковых багатоканальних зображень. Запропоновано критерій визначення ефективності методу підвищення інформативності та деталізації об'єктів на багатоспектральних зображеннях на основі вейвлет-перетворення у формі ентропії яскравостей.
- Вперше розроблено інформаційну технологію зберігання та обробки супутниковых даних, створену для використання у хмарному середовищі. Запропонована технологія забезпечує виконання задач оперативного супутникового моніторингу та їх масштабування на великі території без збільшення часу розв'язання задач.
- Удосконалено методологію розв'язання прикладних задач супутникового моніторингу на основі методів злиття різноманітних різночасових даних. Розроблено автоматизовані інформаційні технології моніторингу

антропогенного впливу видобутку бурштину, моніторингу вирубок, оцінки збитків від лісових пожеж, моніторингу посух та моніторингу агротехнічних операцій.

Обґрунтованість нових наукових результатів. Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків дисертації базується на останніх досягненнях у галузі обробки сигналів і математичного моделювання з використанням сучасних уявлень про фізичні механізми формування супутниковых зображень високого просторового розрізnenня, підтверджується їхнім узгодженням з відомими з літератури результатами. Теоретичні результати підтверджено математичним та комп'ютерним моделюванням та експериментами, перевіркою одержаних результатів при їх практичній реалізації. Матеріали дисертації неодноразово доповідалися автором на конференціях, зокрема міжнародних.

Автор дисертації проявив ґрунтовне знання проблеми, опрацював великий обсяг наукової літератури, виконав ряд теоретичних досліджень, провів адекватний аналіз одержаних результатів, зробив обґрунтовані висновки у кожному розділі.

Практичне значення одержаних результатів: Розроблено інформаційну систему зберігання та обробки супутниковых даних, створену для використання у хмарному середовищі. Запропонована технологія забезпечує виконання задач оперативного супутникового моніторингу та їх масштабування на великі території без збільшення часу розв'язання задач. Розроблено методи тематичної обробки багатовимірних геопросторових даних, які дозволяють підвищити деталізацію об'єктів з подальшим розпізнаванням рослинності і водойм на території мегаполісів, проводити моніторинг і оцінку багаторічних посух та антропогенних процесів, проводити оцінку наслідків вирубок та пожеж лісових масивів, моніторинг незаконного видобутку бурштину, проводити моніторинг агротехнічних операцій на основі інтерферометричного аналізу радарних даних, будувати карти вологості ґрунтів та визначити вплив атмосфери за радіолокаційними даними, проводити моніторинг якості повітря у міських районах, тощо. Зокрема, ці методи використано в рамках проекту ЄБРР «Підтримка прозорого землекористування в Україні» («Supporting Transparent Land Governance in Ukraine») для здійснення моніторингу змін земного покриву

на основі часових рядів оптичних та радіолокаційних зображень з метою подальшої побудови карт класифікації поверхні Землі. Розроблені методи та інформаційні технології реалізовані у формі геопросторового Web-сервісу LandViewer, що ґрунтується на моделі обслуговування PaaS (платформа як сервіс). Web-сервіс розгорнутий в різних геолокаціях для забезпечення максимальної швидкості передачі даних та відмовостійкості. Впровадження отриманих результатів підтверджено відповідними актами.

Можливі конкретні шляхи використання результатів дисертаційного дослідження. До числа організацій, яким можна рекомендувати використання результатів дисертаційної роботи можна віднести Національний центр управління та випробувань космічних засобів Державного космічного агентства України, Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ та ін. Розроблене математичне, інформаційне, програмне та апаратне забезпечення у потрібних модифікаціях можна використати у створених на його основі інформаційних системах хмарної обробки геопросторових даних.

Щодо додаткового використання результатів дисертаційного дослідження В.В. Васильєва, вважаю, що їх варто впровадити в навчальний процес за відповідними спеціальностями.

Повнота викладених результатів в опублікованих працях. Усі основні наукові положення та результати, що подано до захисту, опубліковані у необхідному обсязі у фахових виданнях та пройшли апробацію.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 30 наукових праць, 14 з яких включено у міжнародну наукометричну базу Scopus: 11 статей, серед яких 8 у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, 3 статті у додаткових виданнях за темою дисертації, 19 тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертаційної роботи та автореферату такі:

1. Виходячи з мети дисертації, завдань досліджень, отриманих наукових та практичних результатів, розв'язаної у роботі важливої науково-прикладної задачі та відповідності роботи паспорту спеціальності 05.07.12 — «Дистанційні аерокосмічні дослідження»,

Назва дисертаційної роботи мала б бути сформульована на кшталт:

«Інформаційні технології обробки геопросторових даних на хмарній платформі для завдань супутникового моніторингу»

2. При формулюванні завдань дисертаційного дослідження на стор. 19 - у дисертації та на стор. 2 - в авторефераті і далі у багатьох місцях за текстом дисертації і автореферату здобувачем невдало вжитий, на побутовому, а не науковому рівні, термін **«оптимізація»** (**«оптимізована»**), зокрема, у словосполученні **«інформаційна технологія зберігання та обробки супутниковых даних, оптимізована для використання у хмарному середовищі»**.

Термін **«оптимізація»** (і похідні від нього) – це формалізоване наукове поняття, і означає надання якомусь явищу чи процесу найбільш вигідних характеристик. Оптимізація передбачає, перш за все, задання функції критерію оптимізації, варійовані змінні (параметри, структуру, характеристики), математичну модель процесу та існуючі обмеження, зокрема на ресурси.

Стосовно оптимізації інформаційної технології у хмарному середовищі, то у цьому контексті поняття оптимізації інформаційної технології необхідно було б формалізувати у сенсі вищенаведеного означення.

На думку опонента, розроблена здобувачем інформаційна технологія не **«оптимізована»** а просто **«створена»** з самого початку для використання у хмарному середовищі.

3. У підрозділі 3.2 На стор. 71 у першому абзаці неясно, чому виявлений факт відсутності на початку файлу даних КС Sentinel-2 рівня L1C інформації про зміщення частини тайлу, вважається здобувачем як **неоптимізованість** даних Sentinel-2 L1C для використання у хмарній платформі.

Неясно, тому, що **по-перше**, **файли даних КС Sentinel-2 рівня L1C з самого початку не створювалися для використання у хмарній платформі як такій**;

по-друге, термін «**не оптимізовано**» тут і в інших місцях стосовно формату даних не вірний, бо **оптимізація** це формалізоване наукове поняття, про що йшлося у **зауваженні 2**.

Аналогічне зауваження стосується висловлювання здобувача у підрозділі 3.2 на стор. 70 «**для підвищення швидкості роботи хмарних сервісів автором запропоновано «оптимізований формат» зберігання даних**».

Стосовно поняття формат даних (файл, дані) доцільно використати термін не «**оптимізований**», а «**адаптований**» для використання у хмарній платформі; «**адаптований**» тому, що **деякий формат (файл, дані) вже апріорно існують**.

4. У першому розділі здобувач повинен був би аналітично окреслити сучасний стан завдань обробки багатоспектральних супутниковых даних не взагалі, а, зокрема, з врахуванням мети і завдань власного дисертаційного дослідження. А саме, тут повинен бути розглянутий сучасний стан здійснення попередньої та тематичної обробки даних супутниковых спостережень для класів задач, що розв'язуються у дисертації. Також мали б бути ґрунтовно розглянуті, зважаючи на предмет дослідження, сучасні хмарні платформи для реалізації у них розв'язання завдань дисертаційної роботи, оглянуті методи та технології інтеграції та консолідації програмних продуктів у хмарному середовищі.

Вказані напрями огляду стану проблеми висвітлені у першому розділі недостатньо повно і аргументовано.

Зокрема, не розглянуті питання злиття різномірних супутниковых даних, у тому числі, від різних космічних систем, на етапі попереднього

оброблення даних з метою підвищення просторового розрізнення та підвищення якості певних характеристик даних при їх обробленні до рівня L2.

З сучасних географічних інформаційних систем і прикладного забезпечення для обробки супутниковых даних розглянуті не використовувані у дисертаційному дослідженні, зокрема надто багато уваги виділено ENVI.

Водночас, недостатньо розглянуті сучасні хмарні платформи для оброблення геопросторових даних, які безпосередньо стосуються предмету дисертаційного дослідження, зокрема, потужна хмарна платформа для збереження, обробки та аналізу геопросторових даних Google Earth Engine. З приводу переваг хмарної платформи Google Earth Engine взагалі і над Web-сервісом LandViewer зокрема (можливості платформи і сервісів Google Earth Engine непорівнянно перевищують можливості Web-сервіс LandViewer) буде окреме зауваження 6.

Саме на цьому місці у першому розділі доцільно було б розглянути існуючий Web-сервіс LandViewer, заснований на моделі обслуговування PaaS, реалізований на хмарній платформі Amazon.

Опонент може відзначити достатньо обмежені поточні можливості сервісу LandViewer, процитувавши ще раз відомий факт, що цей сервіс орієнтований, перш за все, на масового користувача, який не має досвіду обробки супутниковых знімків і не має високопродуктивного комп'ютера і спеціалізованого програмного забезпечення. Ознайомлення з Web-сервісом LandViewer дає уявлення про те, що на сьогодні у сервісі реалізовані такі можливості: перегляд знімків високого просторового розрізнення, мозаїкування супутниковых зображень, виявлення змін у геопросторових даних регіону, надання зображень нормалізованих індексів об'єктів земної поверхні, створення областей інтересу на основі псевдокольорових композитів, початки кластеризації зображень земної поверхні. Але зовсім не реалізовані процедури класифікації на основі машинного навчання.

Перевагою запропонованих інформаційних технологій, реалізованих у Web-сервіс LandViewer, на думку здобувача, є, серед іншого, надання користувачеві можливості в оперативному режимі побудови композитних кольорових і синтезованих зображень за даними багатоспектральної зйомки, доступ до карт найбільш поширеніх індексів та продуктів, а також можливість реалізації власних застосувань на основі API.

Але всього цього зовсім мало порівняно з можливостями хмарної платформи Google Earth Engine, яка орієнтована не тільки на масового користувача, який не має досвіду обробки супутниковых знімків і високопродуктивного комп'ютера та спеціалізованого програмного забезпечення. Earth Engine орієнтована ще й на структури державного управління найвищого рівня та потужні професійні науково-дослідницькі установи і колективи, яким не важливі веб-інтерфейси і можливість обходитись без програмування, а важлива реалізація на хмарній платформі Google найсучасніших методів та інформаційних технологій обробки надвеликих даних, що базуються на методах машинного навчання, у тому числі, й глибинного навчання.

5. Базуючись на аналітичному огляді стану завдань обробки багатоспектральних супутниковых даних на хмарній платформі, загальну постановку завдання дисертаційного дослідження у підрозділі 1.6 дисертації не здійснено, а тільки, по-суті, ще раз сформульовано мету дисертації.

6. Щодо істотних переваг хмарної платформи Google Earth Engine над іншими хмарними платформами обробки геопросторових даних, можна відзначити таке Google Earth Engine є відкритою хмарною платформою для пета-байтового (за обсягом інформації) наукового аналізу та візуалізації геопросторових наборів даних для суспільної користі для науки, бізнесу та державних установ. Google Earth Engine надає API-інтерфейси мовами JavaScript та Python, а також інші інструментальні програмні засоби з відкритим кодом для глобального аналізу великих обсягів геопросторових даних. Публічний каталог даних Earth Engine містить різноманітні набори растрівних та векторних даних, які можна

використовувати у розроблюваних script-файлах, а також можна імпортувати власні растрівні, векторні та інші типи даних у хмарне середовище Earth Engine для розв'язання з їх використанням найрізноманітніших завдань з наукового геопросторового аналізу. Типи даних в Earth Engine такі: супутникові зображення різноманітних місій, широкий спектр геофізичних даних, різноманітні дані з клімату та погоди, тощо.

Стосовно некерованої та керованої класифікації об'єктів, то у Google Earth Engine реалізовано близько 20 класифікаторів, які реалізуються засобами об'єктно-орієнтованого програмування спеціальними функціями у класах: ee.Algorithms і ee.Classifier, працюють з **Image Collection** і **Feature Collection**, і базуються на принципах машинного навчання.

У певній множині класифікаторів в Google Earth Engine, які називаються регресійними класифікаторами (лінійними та нелінійними), реалізовані режими як класифікації, так і регресії. Використання регресійних класифікаторів у режимі регресії дозволяє здійснювати злиття мультиспектральних даних різної природи (оптичні, радіолокаційні, теплові) у різних комбінаціях, підвищуючи просторове розрізnenня одного типу даних за рахунок регресії на інших типах і створювати багатоспектральні продукти підвищеного просторового розрізnenня з усіма смугами продукту (див., наприклад, публікацію Zyelyk Ya.I., Chornyy S.V. Pidgorodetska L.V. Enhancement of the spatial resolution of the land surface thermal field imagery based on the multispectral data coupling from various space systems. 18th International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects (Geoinformatics-2019). Session: Remote Sensing in Geosciences. Publication date: 15 May 2019. DOI: 10.3997/2214-4609.201902119. Organisations: EAGE).

Підвищення просторового розрізnenня у всіх смугах багатоспектрального продукту без втрат спектральної інформації, яке може бути реалізоване вищевказаними процедурами регресійної класифікації в Google Earth Engine, є істотною перевагою вказаних процедур злиття багатоспектральних даних від різних космічних систем, порівняно з методом, уdosконаленим здобувачем, який базується на паншарпенінгу, доповненому перетворенням моделі кольору, вейвлет-декомпозицією і реконструкцією та аналізом незалежних компонент, у

якому задіяні всього три смуги багатоспектрального продукту з восьми, наприклад, для даних WorldView-2, що неминуче призводить до втрат спектральної інформації у покращеному таким чином багатоспектральному продукті. До того ж, вказаним удосконаленим здобувачем методом можна проводити злиття даних певних смуг оптичного діапазону сенсора тільки для окремого супутника, а не для різних сенсорів різних космічних систем. Зокрема, не можна здійснювати злиття радіолокаційних даних з оптичними даними і, відповідно, підвищувати просторове розрізнення інтегрованого багатоспектрального продукту до рівня радіолокаційних даних.

Таким чином, здобувачеві як тому, хто має безпосереднє відношення до розвитку Web-сервісу LandViewer на хмарній платформі Amazon, можна рекомендувати доповнювати цей сервіс процедурами класифікації, заснованими на машинному навчанні, у тому числі, у подальшому, на глибинному навчанні. Тим більше, що у Web-сервісі LandViewer декларовані завдання супутникового агромоніторингу, що не може не базуватися на класифікації земного покриву.

7. Перший пункт Наукової новизни на стор. 19-20 дисертації та на стор. 3 автореферату сформульовано неповно, бо є просто констатацією того, що зроблено, і не відображає відмінностей отриманих результатів від відомих раніше. **7.1. Перший пункт Наукової новизни мав би бути сформульований на зразок:** Удосконалено метод попередньої обробки супутниковых даних на основі злиття даних та продуктів їх обробки з різних джерел, який відрізняється від відомих раніше здійсненням додаткової удосконаленої процедури підвищення інформативності багатоканального зображення.

7.2. Другий пункт Наукової новизни доцільно було б сформулювати на зразок: «Удосконалено метод підвищення інформативності та деталізації об'єктів на багатоканальних супутниковых знімках на основі додаткової процедури аналізу незалежних компонент до відомих процедур перетворення моделі кольору, злиття з панхроматичним каналом та вейвлет-перетворення»,

оскільки результат підвищення інформативності багатоканального зображення на основі процедур перетворення моделі кольору, злиття з панхроматичним каналом та вейвлет-перетворення вже був відомим і опублікований у праці:

[54] Мозговой Д. К., Корчинський В. М., Кравець О. В. Підвищення інформативності даних ДЗЗ. *Вісник ДНУ. Ракетно-космічна техніка.* 2009. Вип. 13. Т. 2. № 24. С. 48-54.

8. Підрозділ 2.1 замість назви «Виділення інформативних ознак на супутникових знімках для розв'язання прикладних задач», виходячи із змісту підрозділу і того що сформульовано і обґрутовано у ньому, мав би називатися:

«Метод моніторингу рослинності і водойм на урбанізованих територіях за супутниковими даними надвисокого просторового розрізnenня»

9. У підрозділі 4.3 на стор. 116 у першому абзаці при розгляді результатів застосування інформаційної технології моніторингу наслідків лісових пожеж вказано, що «**запропонована технологія дозволяє більш точно визначати вигорілі ділянки завдяки незалежному визначеню оптимальних порогів бінаризації для кожного зображення**».

По-перше, виникає питання, за яким критерієм і яким чином незалежно для кожного зображення визначаються оптимальні пороги бінаризації?

По-друге, є підстави вважати, що використання повноцінної керованої класифікації з попереднім навчанням класифікатора (ансамблю класифікаторів) на сформованих навчальних вибірках і з перевіркою на тестових вибірках дало б змогу при реалізації автоматизованих інформаційних технологій: моніторингу антропогенного впливу видобутку бурштину, моніторингу вирубок лісу, оцінки збитків від лісових пожеж, - виділити відповідні класи з вищою точністю, ніж реалізація послідовності процедур тематичної обробки: створення індексного зображення, порогова бінаризація індексного зображення, морфологічна фільтрація бінарного зображення, векторизація бінарного зображення.

10. Неясним виявляється введене здобувачем словосполучення «**інформаційні технології (задачі) супутникового моніторингу у реальному часі**» у заголовку розділу 4 дисертації на стор. 66 і у четвертому пункті наукової новизни на стор. 20 у дисертації і на стор. 3 в авторефераті. Конкретно, що значить поняття «**реальний час супутникового моніторингу**»?

Адже навіть актуальні супутникові знімки з'являються у доступі через певний час після реальної зйомки і, у будь-якому випадку, відображають стан земної поверхні у певний момент часу, нехай, і в недалекому, але минулому (знімки Landsat-8) з'являються, наприклад, через кілька днів. Можливість найоперативнішої обробки супутниковых знімків виникає у центрах прийому і обробки супутникової інформації (наприклад, в ЦПОСІ і КНП, Дунаївці, Хмельницької області). Але й у цьому ексклюзивному випадку дані від знімальної системи космічного апарату передаються із запізненням на час, що проходить від знімання до входу космічного апарату у зону приймання наземної станції приймання супутникової інформації.

Вказані зауваження не впливають на високу загальну позитивну оцінку роботи, яка виконана на високому науковому рівні і має вагомі практичні застосування.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота В.В. Васильєва є завершеним науковим дослідженням, у ході якого розв'язано важливe науково-прикладне завдання розробки нових методів і автоматизованих інформаційних технологій та систем попередньої і тематичної обробки різномірних супутниковых даних на базі хмарної архітектури, що ґрунтуються на моделі обслуговування PaaS (платформа як сервіс).

Запропоновано архітектурні і технічні рішення швидкого доступу та тематичної обробки супутниковых даних, що зберігаються у хмарному

середовищі. Розроблено методи та інформаційні технології реалізовано у формі геопросторового Web-сервісу LandViewer. Розроблені методи та інформаційні технології дозволяють розв'язувати важливі прикладні завдання: підвищувати просторове розрізnenня первинних даних, розпізнавати рослинність і водойми, будувати карти вологості ґрунтів, проводити моніторинг і оцінку багаторічних посух та антропогенних процесів, проводити оцінку наслідків вирубок та пожеж лісових насаджень, моніторинг незаконного видобутку бурштину, здійснювати моніторинг агротехнічних операцій на основі інтерферометричного аналізу радарних даних та моніторинг якості повітря у міських районах.

Дисертація відповідає паспортові спеціальності 05.07.12 — «Дистанційні аерокосмічні дослідження», зокрема пунктам:

- Розроблення нових методів аналізу, синтезу оптимальних систем дистанційних досліджень, обробки сигналів, процесів і зображень в аерокосмічних системах дистанційного зондування.
- Розроблення, наукове обґрунтування і побудова комп'ютерних технологій автоматизованої обробки та інтерпретації матеріалів, розпізнавання образів, а також тематичних ознак дистанційних досліджень у різних діапазонах.
- Розроблення теоретичних та практичних основ дистанційного екологічного моніторингу, захисту і вивчення природних середовищ, їхніх ресурсів, планування експериментів з аерокосмічних досліджень.

Дисертаційна робота оформлена у відповідності з вимогами до кандидатських дисертацій. Автореферат та опубліковані роботи здобувача за темою дисертації з достатньою повнотою відбивають її зміст.

Вважаю, що за актуальністю теми, науковою новизною, ступенем обґрунтованості наукових результатів, практичною цінністю, повнотою викладення матеріалу у працях здобувача, оформленням дисертаційна робота В.В. Васильєва «Розробка інформаційних систем хмарної обробки багатовимірних геопросторових даних» задовільняє всім вимогам, п. 9, 11–14 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а

здобувач, **Васильєв Володимир Володимирович**, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.07.12 — Дистанційні аерокосмічні дослідження.

Офіційний опонент:

Головний науковий співробітник
Інституту космічних досліджень
Національної академії наук України та
Державного космічного агентства України,
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник

Я.І. Зєлик

Підпис Зєлика Яреми Ігоровича

засвідчую:

Вчений секретар ІКД НАН України та ДКАУ

кандидат технічних наук



О.О. Ніжніченко