

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА
на дисертаційну роботу
ДУГІНА СТАНІСЛАВА СЕРГІЙОВИЧА,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за
спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження на тему:
**«Обґрунтування вибору тестових ділянок для наземної верифікації даних
космічного геомоніторингу території України»**

Об'єкт дослідження Дугіна С.С. – космічний геомоніторинг території України. Предметом дисертаційної роботи є тестові ділянки для наземної верифікації даних космічного геомоніторингу території України.

Актуальність досліджень полягає в тому, що незважаючи на існування багатьох різних методів та засобів дистанційного геомоніторингу території України, ще залишаються невирішеними деякі важливі питання, серед яких такі:

1. Обґрунтування вибору тестових ділянок для наземної верифікації багато- і гіперспектральних даних космічного геомоніторингу території України.

2. Вивчення властивостей природних і антропогенних складових тестових ділянок України на основі спектрометричної інформації та створення відповідної бази спектральних характеристик довкілля.

3. Вирішення тематичних задач природокористування на основі одержаних спектрометричних даних космічного геомоніторингу з урахуванням наземної верифікації вказаної інформації.

При розв'язанні задачі створення тестових ділянок в основних фізико-географічних зонах для різних ландшафтно-геологічних умов України актуальним є використання системного підходу, сучасних методів моделювання, оцінки та прогнозу складних систем, можливостей сучасних інформаційних і комп'ютерних технологій.

В результаті проведених досліджень одержано новий матеріал зі створенням полігонів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) щодо вирішення задач геомоніторингу геологічного середовища, в тому числі пошуку корисних копалин, кліматології, оцінці антропогенного навантаження та надзвичайних ситуацій тощо.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (258 найменувань). Робота викладена на 214 сторінках, що містять 9 сторінок анотації, 150 сторінок основного тексту (в тому числі 28 рисунків, 43 таблиці), а також 7 додатків на 26 сторінках.

Зміст автoreферату узгоджується зі змістом дисертації і в достатній мірі відображає всі її необхідні елементи: аналіз стану проблеми, опис прийнятих в геології підходів і методичних прийомів, послідовний і докладний виклад процесу одержання вихідних матеріалів, вивченість досліджуваних питань, обґрунтування нових та уточнення існуючих уявлень про досліджуваний об'єкт. Позитивною рисою дисертації є ясний і концентрований виклад отриманих результатів.

Викладені в дисертації наукові результати опубліковано 27 роботах, у тому числі: 3 монографії; 11 – у виданнях, що внесені до переліку наукових фахових видань України з геологічних наук (з яких: 1 – виконано одноосібно, 4 – включено у наукометричну базу РІНЦ, 1 – Scopus); 1 патент; 5 публікацій – в

інших журналах та виданнях України; 7 – у збірниках матеріалів і тез доповідей вітчизняних і закордонних конференцій. Зміст, кількість і обсяг наукових публікацій та їхня якість відповідають критеріям, прийнятим при захисті дисертацій з геологічних наук.

В **Розділі 1** розглянуто тестові полігони ДЗЗ, які використовуються для розробки і сертифікації методик вирішення тематичних задач ДЗЗ, створення і поповнення комп'ютерних баз даних про спектральні сигнатури об'єктів ДЗЗ і проведення інших наукових досліджень. З цією метою на території полігону облаштовуються або просто вибираються тестові ділянки, кожна з яких має певні стійкі характеристики (спектральна яскравість, геометричні показники та ін.). Ці характеристики використовуються при інтерпретації зображень в якості атрибутивних ознак відповідного класу об'єктів.

В **Розділі 2** описано особливості геологічної будови території України, що дають можливість більш надійно прогнозувати нафтогазові родовища, а також поклади кольорових металів, ряду рідкісних металів, кольорових каменів та ін. Спектральні характеристики рослин можуть бути джерелом певної інформації у цьому напрямку. Розглядаючи рослину як «інструмент», необхідно підкреслити особливості її реакції на дію факторів довкілля. Рослинні угруповання можуть містити елементи, кожний з яких проявляє низьку чутливість до окремих чинників. Однак завдяки кумулятивному ефекту протягом тривалого часу відбуваються зміни в стані систем вищого порядку, що саме й дозволяє використовувати дистанційні методи для виявлення просторово-часових природних та антропогенних аномалій.

В **Розділі 3** розглянуто полігон ДЗЗ як складну екобіосистему, що вимагає великого обсягу польових вимірювань і спостережень. При методичному забезпеченні цих робіт ключовими є питання вибору параметрів, що підлягають вимірюванню, обґрунтуванню необхідної точності і періодичності вимірювань і спостережень. Стосовно об'єктів зондування – це спектральні характеристики відображення, поглинання і пропускання, а також ступінь їх поляризації. Крім того, потрібен періодичний контроль земної поверхні за допомогою вимірювань вологості і геохімічного складу ґрунту. Принцип єдності вимірювань вимагає, щоб їх результати були прив'язані до національних або міжнародних стандартів, а похиби вимірювань були чітко встановлені і витримувалися.

Проведено оцінку і вибір мережі полігонів, враховуючи ландшафтно-кліматичні зони України, специфіку тематичних завдань ДЗЗ та наявність діючої мережі наземних полігонів. Таким чином, щоб забезпечити необхідну наземну завірку космічної інформації ДЗЗ, полігони повинні задовольняти певним вимогам. Наводяться такі категорії вимог як структура, випромінюально-відбивні характеристики, географічне розташування і розміри, методичне та технічне забезпечення, сертифікація. Структура полігону розробляється на етапі його створення відповідно до можливостей місцевої екосистеми та переліку тематичних задач ДЗЗ. Випромінюально-відбивні характеристики підстилаючої поверхні тестових ділянок повинні мати коефіцієнт відбиття в заданому спектральному діапазоні не менше 0,3; поверхня має бути близькою до ламбертовської; форма спектральної характеристики повинна бути в межах робочого спектрального інтервалу досить плоскою і стабільною.

При виборі місця розташування наземного полігону ДЗЗ слід брати до уваги насамперед ландшафтно-кліматичні та геолого-геоморфологічні особливості території, оскільки місцевий клімат, характерна рослинність і рельєф визначають структуру полігону і склад тестових об'єктів. Методичне і технічне забезпечення для нормального функціонування тестових ділянок полігонів має включати великий обсяг польових вимірювань і спостережень. Це вибір параметрів, що підлягають вимірюванню, обґрунтуванню необхідної точності і періодичності вимірювань, а саме: інтегральних і спектральних характеристик відбиття, поглинання і пропускання, а також вологості і геохімічного складу ґрунту земної підстилаючої поверхні. Здійснено оцінку та аналіз тематичних завдань ДЗЗ і характеристик полігонів. Визначені геолого-географічні та тематичні характеристики мережі вибраних тестових ділянок (полігонів) ДЗЗ.

Встановлено основні дешифрувальні ознаки та критерії належності покривних елементів ландшафту до відповідного класу, характерних для Київського полігону ДЗЗ. Зіставлені гіперспектральні дані супутникового сенсора EO-1 «Hyperion» і результати наземного вимірювання спектрорадіометром FieldSpec3FR.

Розглянуто динамічну задачу синтезу орбітальних супутниковых систем зонального огляду Землі. Синтез проводився за умови мінімізації статистичного критерію часу повторного огляду, з урахуванням обмежень на зміни стану системи і вимог ефективної експлуатації. Наведено приклад моделювання та синтезу орбітальної системи спостереження території України для вирішення тематичних завдань. В результаті синтезу параметри орбіт космічного угруповання космічних апаратів можуть бути використані для попередньої оцінки обґрунтування можливості створення мікросупутниковых угруповань ДЗЗ території України, обґрунтованих вимог до апаратури корисного навантаження. Показана принципова можливість створення мікросупутникового угруповання геомоніторингу території України, проведено моделювання характеристик спостереження об'єктів, наведено алгоритми аналізу статистичних характеристик зонального спостереження угрупованнями космічних апаратів ДЗЗ при зміні геометрії їх орбіт у процесі експлуатації (перехід на близькоокульові та еліптичні орбіти). Максимальний час повторного огляду всіх об'єктів, розташованих на території України, становить приблизно 2,7 доби.

В Розділі 4 розроблено та адаптовано до умов України виконання польових робіт з використанням спектрорадіометра FieldSpec3FR. Європейська система класифікації земних покривів CORINE Land Cover адаптована до умов України. Створено базу даних польових вимірювань.

Висвітлено результати спектрометрування приладом FieldSpec3FR дрібноділянкових посівів демонстраційного полігону елітного насінневого господарства «Золотий колос» у Миколаївській області, на основі яких розраховано вегетаційні індекси червоного краю (REP, TCI, NDVI705) для двох різновидів (лютесценс та еритроспермум) озимої пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) та різновиду озимої пшениці твердої (*Triticum durum* Desf.).

Визначено кореляційні зв'язки між газометричними та наземними гіперспектральними даними рослинності для оцінки потоків CO₂ в системі «атмосфера-рослинність». Використано метод оцінки фотосинтетичного компоненту потоків CO₂ при комбінації результатів зйомки спектрорадіометра

FieldSpec3FR та даних по потоках при наземних газометричних вимірюваннях. Залучено підхід, пов'язаний з напівемпіричним статистичним моделюванням при отриманні кореляційної залежності гіперспектральних поверхневих характеристик потоків CO₂, одержаних дистанційно та шляхом газометричних вимірювань для різних сільськогосподарських культур. На основі кореляційної залежності отримано дані потоків CO₂, які відображають інтенсивність фотосинтезу для озимої пшениці, сої, кукурудзи, соняшника.

Вперше в Україні на основі полігонних інструментальних вимірювань запропоновано рівняння оцінки регресійної залежності інтенсивності поглинання CO₂ рослинним покривом від його спектральних характеристик для агроценозів Лісостепової зони: CO₂ = -4,093 – 26,631 × (sPRI × NDVI).

Це дозволяє одержувати достатньо надійні дистанційні оцінки потоків CO₂, що може дати можливість для України уточнювати квоти торгівлі парниковими газами згідно Кіотського протоколу та Паризького саміту (2015 р.).

Досліджено десять вегетаційних індексів, обчислені одночасно як за супутниковими даними Sentinel-2, так і за результатами наземного спектрометрування приладом FieldSpec3FR. Обрано тотожні за географічними координатами ділянки виробничих посівів озимої пшениці двох сортів Богдана і Скаген. Виявлено, що значення більшості досліджених вегетаційних індексів за супутниковими даними місії Sentinel-2 близькі за величиною до аналогічних індексів, обчислені за вузькими спектральними каналами FieldSpec3FR, за винятком DRI_{CI} (Double Ratio Index for chlorophyll index) та CI_{green} (ratio green Chlorophyll Index), значення яких за супутниковими каналами значно нижчі, ніж за показниками спектрорадіометра. Продемонстровано, що розбіжності вегетаційних індексів за Sentinel-2 та FieldSpec3FR залежать від фази розвитку рослин озимої пшениці: впродовж вегетації коефіцієнти кореляції між ними зростають для посівів обох досліджуваних сортів.

Визначено варіації спектрометричних коефіцієнтів відбиття пшениці, мерісівського наземного хлорофільного індексу TCI та позиції червоного краю REP за польовими даними спектрорадіометра FieldSpec3FR під впливом просочування природного газу над Глібовським газовим родовищем-сховищем. Встановлено, що в місцях аномально високих концентрацій газоподібних вуглеводнів у ґрунті значення REP та TCI зменшуються порівняно із їх значеннями для фонової ділянки за межами родовища. Таким чином, гіперспектральне дистанційне зондування рослинного покриву над родовищами газу може бути використане для визначення цих змін. Особливо ефективним є метод комплексного використання двох вегетаційних індексів REP та TCI, які мають високий коефіцієнт кореляції. Реагуючи на зміну вмісту хлорофілу в рослинах зменшенням їх величин над покладом в порівнянні з фоновими значеннями за межами покладу, вони можуть виявляти вегетаційні стреси в місцях збільшених концентрацій природного газу в ґрунті і, таким чином, слугувати нафтогазопошуковими індексами. Вперше в Україні досліджено зміни гіперспектральних індексу HD (Hydrocarbon Detection) та індексу HI (Hydrocarbon Index) за даними спектрометрування наземного покриву над Приозерним нафтовим родовищем спектрорадіометром FieldSpec3FR з метою виявлення нафтovмісних ґрунтів без рослинного покриву для визначення нафтovмісних та забруднених нафтопродуктами ґрунтів. Використання згаданих

індексів для виявлення нафтових забруднень наземного покриву без рослинності є дуже важливим і потребує подальших досліджень. На основі отриманих даних на Глібовському газосховищі зроблено винайді, що належить до нафтогазової галузі – пошуку й розвідки покладів вуглеводнів. Теоретичні передумови способу базуються на положеннях, що фізіологічний стан рослин та їхні оптичні характеристики визначаються сукупністю факторів навколошнього середовища. Такими факторами є аномальні геологічні, геофізичні, геохімічні і біохімічні поля в межах покладів вуглеводнів. Аномалії визначаються за фітоіндикаційним показником листяного покриву шляхом спектрометрування та обчислюються за розмірністю спектрограм покриву шляхом належного їх масштабування і перетворень. Спосіб спектрометричної індикації виявлення аномалій природного та антропогенного походження, фізичною основою якого є наявність зв'язку між параметрами ділянок досліджуваної території – геологічними, геофізичними, геохімічними і біохімічними полями та їх аномаліями в межах покладів вуглеводнів, полягає у наземному спектрометруванні відібраних зразків рослинності. Фітоіндикаційний показник істотно збільшує своє значення на аномальних ділянках. За відхиленням його значень від значень на еталонній, без аномалій ділянці виявляють область аномалій.

Дисертант брав безпосередню участь в польових роботах. Основою дисертації слугували результати досліджень автора, виконаних ним особисто та у співавторстві. В опублікованих зі співавторами наукових працях, у яких відображені основні наукові результати дисертації, конкретний внесок здобувача полягав у підготовці до польових зйомок; виконанні польових та камеральних робіт; обстеженні територій досліджень для створення тестових ділянок; проведенні польового спектрометрування; розробленні методу комплексного застосування гіперспектральних індексів червоного краю для розрізнення рослинного покриву та оцінювання його стану за даними гіперспектральних сенсорів; проведенні попередньої обробки отриманих даних з використанням спеціалізованих програм (ViewSpec Pro v6.0, Garmin MapSource v6.16.2, ArcGis); топографічної прив'язки спектрометричних вимірювань на території досліджень за допомогою GPS-приймача; визначені освітленості та температури; вимірюванні вологості; інтерпретації результатів ДЗЗ; прогнозуванні змін стану довкілля; підготовці наукових даних до публікації.

Представлені в дисертації результати одержані на базі великого обсягу зібраного автором протягом останніх 8 років матеріалів геолого-геофізичних досліджень як опублікованих провідними геологами країни та зарубіжжя, так і одержаних в результаті проведення польових досліджень з особистою участю дисертанта. Дисертаційна робота виконана згідно з планами наукових досліджень ДУ «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України» у рамках вісімнадцяти науково-дослідних тем. Участь дисертанта в великій кількості тем свідчить про універсальність використовуваних ним методів, науково-практичну цінність і затребуваність досліджень, яку він проводить.

Науково-практичні результати, що складають зміст дисертації, можна сформулювати у вигляді розроблених дисертантом п'яти позицій.

– Застосовано удосконалений комплексний підхід до аналізу інформативних ознак при виборі тестових ділянок для спектрометричної верифікації даних гіперспектрального космічного геомоніторингу.

- Вперше створено модель експертних оцінок для вибору тестових ділянок, здійснено порівняльний аналіз спектрометричних характеристик ландшафтно-геологічних особливостей України, тематичних задач природокористування та космічних систем спостереження, розроблено вимоги до тестових ділянок.
- Вперше виконано експертне оцінювання основних полігонів України. Для подальшого дослідження вибрано шість тестових ділянок з урахуванням різних ландшафтно-геологічних умов.
- Вперше для території України отримано характеристики гіперспектрального відбиття природного та антропогенного походження для вибраних тестових ділянок.
- Вперше для основних полігонів України створено відповідну спектрометричну базу даних.

В дисертаційній роботі також набули подальшого розвитку:

- Методи з розв'язання задач природокористування на основі спектрометричної інформації космічного геомоніторингу з урахуванням матеріалів наземних спектрометричних зйомок на тестових ділянках.
- Методичні підходи до зіставлення гіперспектральних та газометричних наземних порівнянь оцінки потоків CO₂ у системі «атмосфера-рослинність».
- Зіставлення гіперспектральних (багатоспектральних) космічних та наземних завіркових даних на тестових ділянках для верифікації та визначення інформативних індексів у зоні червоного краю та SWIR-області.
- Апробовані на тестових ділянках визначення варіацій індексів червоного краю спектрів відбиття під впливом просочування вуглеводнів з родовища на наземний хлорофільний індекс.

Удосконалені методичні підходи до більш надійного виявлення спектральних аномалій земної поверхні природного та антропогенного походження і відповідних вегетаційних індексів.

Всі вказані вище результати є добре обґрунтованими і складають разом картину суттєвої наукової новизни результатів дисертаційних досліджень.

Достовірність всіх компонентів одержаних висновків підтверджується різними прийнятими в науці способами. Перш за все, загальна достовірність результатів підкріплена тим, що дисертантом використано багато разів перевірену і загально прийняту як в Україні, так і у світі методику одержання вихідних матеріалів з використанням сучасної спектрометричної апаратури. Застосований комплексний аналіз усіх наявних і зібраних автором об'єктивних даних.

Використані в дисертаційній роботі Дугіна С.С. матеріали досліджень, висунуті гіпотези і висновки – є обґрунтованим, сучасним зрізом наукових знань. З огляду на це робота може вважатися завершеною на даному етапі досліджень.

В процесі проведених робіт одержано новий матеріал, необхідний для обґрунтування умов процесу формування району досліджень тестових ділянок (полігонів), який у подальшому може бути використано для цілеспрямованих пошуків нафтогазових родовищ.

До недоліків дисертаційної роботи слід віднести наступні:

1. В авторефераті є помилки. *Таблиця 1 Ієрархічна модель оцінки і вибору космічних завірочних полігонів для....* – повинно бути підписано Ієрархічна модель оцінки і вибору космічних завірочних полігонів для забезпечення

виřшення тематичних завдань ДЗЗ. Деякі із рисунків у авторефераті занадто зменшено за розмірами.

2. Недостатньо присвячено уваги особливостям вибору тестових ділянок полігонів ДЗЗ.

3. Не зрозуміло в чому різниця між рис. 4 – синтезоване зображення знімка Sentinel-2 тестових ділянок сільськогосподарських угідь полігону «Березань» від 08.04.2016 р. та рис. 8 – індекс NDVI, розрахований з знімка Sentinel-2 тестових ділянок сільськогосподарських угідь полігону «Березань» від 08.04.2016 р. Спектральний канал 660, 840 нм, номери каналів (8-4)/(8+4).

4. Не висвітлено питання про корисні копалини на території тестових ділянок (полігонів) і в суміжних районах.

Вказані недоліки не зменшують теоретичне і практичне значення дисертаційної роботи Дугіна С.С. в галузі дистанційних аерокосмічних досліджень.

Основні положення досліджень вносять суттєвий вклад в розвиток наукових знань. Її матеріали можуть застосовуватися на практиці при плануванні розвитку мінерально-сировинної бази України.

Робота Дугіна С.С. добре оформлена і відповідає вимогам Державної атестаційної комісії Міністерства науки і освіти України до кандидатських дисертацій, а її автор Дугін Станіслав Сергійович заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 05.07.12 – дистанційні аерокосмічні дослідження.

Зав. відділом спеціальної металогенії

Державної установи «Інститут геохімії навколошнього

середовища Національної академії наук України»,

доктор геологічних наук,

старший науковий співробітник

В.Г. Верховцев

Підпис В.Г. Верховцева засвідчує:

Учений секретар

Державної установи «Інститут геохімії навколошнього

середовища Національної академії наук України»,

кандидат технічних наук

Н.А. Бородіна

