

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за присъждане
на образователната и научна степен „Доктор“
в Професионално направление: 4.4. Науки за Земята,
научна специалност „Дистанционни изследвания на Земята и планетите“
на

редовен докторант маг. Искрен Иванов

на тема: „Картографиране на тежки метали и минерали по спътникови
спектрометрични данни в ударен лунен кратер в басейна Аполо“
с научен ръководител: проф. д-р Лъчезар Филчев

**от член на Научното жури
проф. д-р Георги Желев,**

Института за космически изследвания и технологии – БАН

Рецензията е изготвена в изпълнение на Заповед № 99/26.09.2025 г. на Директора на ИКИТ-БАН и с решение по процедурата на Научния съвет на ИКИТ-БАН (Протокол № 31/23.09.2025).

От предоставените материали от Искрен Иванов, както и от представените за рецензиране и изготвяне на становища, Дисертационен труд и Автореферат е видно, че са удовлетворени формалните изисквания и са налице необходимите условия за допустимост и стартиране на процедурата по публична защита на дисертационния труд.

1. Кратко представяне на докторанта

Редовен докторант маг. Искрен Иванов, назначен със Заповед № 49/30.05.2022 на Директора на ИКИТ-БАН с научен ръководител: проф. д-р Лъчезар Филчев.

Искрен Иванов е придобил степен Магистър във Великотърновския университет „Св. св. Кирил и Методий“ по специалност „Политология. Дипломатия и национална сигурност“. през периода 2009 – 2011 г. Втора магистърска степен е защитил в Бургаският свободен университет в периода 2014 – 2020 г. с професионална квалификация: Юрист. Владее английски и руски езици. Има 12 бр. публикации за периода 2022-2025 г. Участва в един проект в ИКИТ-БАН.

Общия сбор кредити събрани от докторанта в изпълнение на образователната и научна програма за подготовката на докторантите в БАН, надхвърля изискуемия минимум от 200 кредита.

2.Обща характеристика и оценка на дисертационния труд

Дисертационният труд е 187 страници и се състои от пет части. В началото е приложен **Списък на използваните съкращения и символи** (4 страници) на български и английски език.

Първата част е **Увод** (36 страници), в който са описани актуалността на темата, научно значение и развитие на Луната, развитие на дистанционните изследвания и

картографирането на лунната повърхност, описание на обекта на изследване – кратера „Драйдън“ и целите и задачите, които си поставя дисертанта.

Следва втора част **„Материали и методи“** (36 страници), са описани теоретико-методологичните основи на изследването и техническа обосновка на набора от данни, използван за извличане, картографиране и интерпретация на минерални индикатори от лунната повърхност. Подробно са описани използваните дистанционни хиперспектрални данни от спектрометъра Moon Mineralogy Mapper от индийската мисия Chandrayaan-1, избран след систематичен преглед на съществуващите орбитални лунни спектрометрични мисии. Описани са допълнително използваните данни от лабораторни спектрални библиотеки, както и спомагателни данни – цифров модел на релефа, глобална морфоложка мозайка и стандартна лунна координатна система. Описани са също и използваните програмни среди за обработка и анализ на данните. Следва подробно описание на стъпките на избраната методика за първична обработка на данните – георефериране и пространствена обработка на хиперспектрални данни за кратера „Драйдън“, коригиране и ресемплиране на данните от спектралната библиотека и изчисляване на спектрални индекси.

Третата част е **„Резултати“** (42 страници), където са описани резултати свързани с определянето на релефа, релефните и морфоложки форми на кратера „Драйдън“. Представени са картографското разпределение на наличието на минерали и концентрацията на тежки метали в изследваната територия. Направена е геолого-минераложка интерпретация на кратера „Драйдън“.

Четвъртата част е **„Изводи, Закljučения и Приноси“** (5 страници) Следват синтезирани изводи от първите две части. Трудът завършва със **„Закljučение“**, в което са обобщени работата и основните резултати получени от извършеното изследване. Следват изведени четири научно-приложни приноса на докторанта. Представени са 5 бр. статии към дисертационния труд.

В текста има представени три фигури и две таблици. Основния набор от фигури и таблици са представени в част пета – **„Приложения“**.

В петата част **„Приложения“** (34 страници) следва общ списък с приложения отнесени към всяка от предходните части. Те са във вид на списъци, таблици, фигури и обяснителен текст. Дисертацията завършва със шеста част **„Благодарности“** (3 страници) на български и английски език и списък на използваната литература, състоящ се от 219 източника на английски език. В началото на дисертационния труд е приложен Списък на използваните съкращения и символи на български и английски.

Написаният труд отговаря по структура и обем на изискванията на Закона за развитие на академичния състав в Р. България и Правилника към него, както и на Правилника на ИКИТ-БАН за дисертация за ОНС „Доктор“.

3. Оценка на актуалността и степента на познаване на проблема

Актуалността се акцентира в началото на уводната част на дисертацията. Изследването на лунната повърхност за наличие на суровини е предизвикателство за бъдещите лунни бази. Търсенето на нови източници на стратегически и критични

суровини играе основна роля в производството на възобновяема енергия, батерии, електроника, космическите технологии и др. Тава е в следствие на нарастващия антропогенен натиск върху природните ресурси на Земята, обусловен от глобалните демографски, индустриални и технологични тенденции, налага стратегическо преосмисляне на парадигмата за ресурсно осигуряване. В този контекст Луната се утвърждава като първи приоритетен обект извън Земята в глобалната геостратегическа и индустриална надпревара. Голямо внимание се обръща към рохавия фрагментиран материал, който покрива лунната повърхност – реголит. Той включва много индустриално значими елементи и използването му ще е приоритетно при построяване на първите лунни колонии. Съвременните дистанционните изследвания предоставят основа за картографиране на лунната повърхност, реконструкция на геоложката история на Луната и съставят основа за бъдещи *in situ* мисии. Понастоящем много държави чрез своите космически служби предявяват намерение за детайлни проучвания и създаване на бази на Лунната повърхност (NASA на САЩ, ESA на Европейския съюз, JAXA на Япония, CNSA на Китай, ISRO на Индия и др.).

Актуалността и значимостта на темата се обуславя от международния научен и стратегически интерес към дистанционните изследвания и картографиране на лунната повърхност.

4. Оценка на научните и научно-приложните приноси на дисертационния труд

1) Литературна осведоменост и теоретична подготовка на кандидата

От изложеното в уводната част и анализирането на литературните източници (219 бр.) се вижда, че авторът е придобил задълбочени познания по проблемите, които се разглеждат в дисертацията, а именно:

- Луната като платформа за индустриално и научно развитие;
- Картографиране, определяне на марфологията и геоложката история на лунната повърхност и на ударния кратер „Драйдън“;
- Дистанционни изследвания на Луната и определяне чрез спектрални отражателни характеристики и спектрални индекси вида на минералите и тежките метали, изграждащи повърхностния слой в кратера „Драйдън“;
- Определяне на пространственото разпределение на пироксен, плагиоклаз, шпинел и хромит и количествени стойности на FeO и TiO_2 ;
- Ролята на ударната екскавация и космическото изветряне.

2) Методичен подход

Изследването се основава на интердисциплинарен подход, обединяващ теоретични постановки от планетарната геология, геоинформационните технологии, спектроскопията и дистанционните изследвания на небесни тела с практически прилагана методика за количествен анализ и тематично картографиране чрез използването на хиперспектрални данни, картографията и морфостратиграфския анализ.

В резултат от направения анализ на литературните източници е набелязан обекта на изследване – кратерът „Драйдън“. Той е разположен в северозападната част на басейна „Аполо“ на обратната страна на Луната. Това е обусловено от

относително слабото изследване на структурите от обратната страна на лунната повърхност.

В края на първата част са ясно формулирани целта и задачите на изследването. Научната цел се отнася до използване на дистанционни методи (хиперспектрални данни от апарата Moon Mineralogy Mapper - M³) при картографиране и пространствен анализ на минерали и тежки метали в кратера „Драйдън“, определяне на морфостратиграфските особености и геолого – геохимичната история.

За реализиране на поставената цел, докторантът Искрен Иванов, набелязва девет основни изследователски задачи. Те представляват логическа последователност, насочена към изпълнението на целта на изследването и осигуряват цялостна основа за реализацията на последващите етапи от картографирането, интерпретацията на получените резултати и анализа.

В част втора са описани материали и методите за решаване на поставените задачи. Това са избрани спектрометрични данни от M³, данни от спектрална библиотека Reflectance Experiment Laboratory (спектрални отражателни характеристики на скали и минерали) и спомагателни данни (цифров модел на релефа и глобална морфоложка мозайка на лунната повърхност). В тази част са описани използвани програмни продукти и използваната координатна мрежа. Методиката на дисертационния труд се базира на методите за дистанционни изследвания (фотоинтерпретация, спектрални отражателни характеристики, спектрални индекси и др.), ГИС методите (георефериране, пространствен анализ пространствена статистика и др.) топографски и статистически методи (статистическият анализ, сравнителният анализ и др.). Частта завършва с подготовката и първичната обработка на данните за обекта на изследване – кратера „Драйдън“.

Обединяването на избраните методи и работата в среда на ГИС, логично води до получени резултати. Прилагането и усъвършенстването на тези методики обогатяват знанията и опита на Искрен Иванов и представляват образователен принос.

3) Значимост и убедителност на получените резултати, интерпретации и изводи

Основната работа и получените резултати са представени в трета част – „Резултати“.

Дисертантът прави анализ и обосновава необходимостта от създаване на морфостратиграфска карта на кратера „Драйдън“, като база за изследване на пространственото разпределение (картографиране) на анортозит, пироксен и шпинел. Изследваните минерали са едни от основните скалообразуващи минерали, а анортозитът е доминиращият тип скала (~ 80%) и е една от най-старите скали, изграждащи лунната повърхност. Резултатите от спектралните анализи са представени в редица карти на пространственото разпределение на минералите и скалите в рамките на кратера „Драйдън“ и околностите му. Тяхното разпределение е важен източник на информация по отношение на геоложката история и развитието на Луната.

Дисертантът анализира и пространственото разпределение и концентрация на някои тежки метали в рамките на изследваната територия като разглежда разпределението на техните спектрални индекси. Това са Fe и FeO, Ti и TiO₂. Морфоложката привързаност на тежките метали като стратегически суровини е

важно във връзка с бъдещите Лунни мисии. Разкрива се една комплексна картина на геохимичното обогатяване на изследвания район, като резултат от ударно-индуцирани процеси, морфоложката структура на кратера, деградация и космическо изветряне.

Изследвано е, чрез спектрални индекси и пространственото разпространение на минерала хромит $(\text{Fe, Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$. То съвпада с геоложки активните райони, където се наблюдават и повишени стойности на FeO и TiO_2 и участъци с подчертана ролята на денудационните процеси и деградиране на повърхностния реголитов слой, където се разкрива „свежа“ скална основа.

Геолого-минераложка интерпретация на кратера „Драйдън“ отразява ключови етапи от еволюцията на лунната кора в басейна „Аполо“ и процесите на фракционна кристализация и магмена диференциация, протекли в глобалния Лунен магмен океан. Ударните образувания са основният екзогенен геоложки процес, формиращ топографията и морфологията на лунната повърхност. Те разкриват слоеве на лунната кора и/или горна мантия. Пространственото разпределение на изследваните тежки метали Fe , FeO , Ti , TiO_2 и хромит очертава участъци от скали, произхождащи от дълбоките слоеве на лунната кора и горната мантия.

Всички резултати са валидирани чрез използване на диагностични спектрални индекси от спектрална библиотека RELAB, както и чрез редица литературни източници.

Впечатление прави ясните и точно структурирани изводи след всяка част от проведените анализи и интерпретации. Независимо от това в част 4 „Изводи, заключения и приноси“ са обобщени и синтезирани научните изводи от предходните части.

В заключение дисертантът Искрен Иванов обобщава извършената работа по темата на изследването. Той акцентира за възможността да се използват дистанционни хиперспектрални данни и спектрални библиотеки за комплексно картографиране на морфологията, минералния състав и наличието на стратегически суровини на лунната повърхност и по-конкретно лунния ударен кратер „Драйдън“, разположен в северозападната част на басейна „Аполо“, разположени на обратната страна на Луната. Определя сложната морфология на кратера и минералната хетерогенност като резултат от фракционна кристализация, ударна екскавация, ударно топене, блокова тектоника (еластично възстановяване и вертикално издигане), както и от денудация, включваща гравитационни и механични процеси, деградация и космическо изветряне. Изготвените тематични карти допринасят за пълното възприемане на получените резултати.

4) Приноси на дисертационния труд

Представени са четири основни научни и научно-приложни приноси на дисертационния труд. Приносите са изцяло по темата на дисертационния труд и са:

➤ Разработена, приложена и изпитана е методика за тематично картографиране на минерали и тежки метали чрез сателитни хиперспектрални данни от M^3 , както и за тематично картографиране на морфостратиграфията на лунен ударен кратер чрез цифров модел на релефа и сателитни мултиспектрални данни.

➤ Въведен и изпитан е подход за валидиране на сателитни COX с лабораторни данни от RELAB.

➤ Изготвени са: морфостратиграфска карта, индексни карти на пространственото разпределение на пироксени, плагиоклаз, шпинели, хромит, FeO и TiO₂ в кратера Драйдън с висока разделителна способност.

➤ Идентифицирани са преки пространствени зависимости, в данните от M³ от кратера Драйдън, между пространственото разпределение на FeO и TiO₂ и склоновете на кратера.

Приемам приносите на докторанта и ги определям като изцяло негови.

5. Оценка на публикациите по дисертацията

Представени са пет публикации по темата на дисертацията, в които са представени резултати от изследването. Едната е самостоятелен доклад и публикуван в сборник от конференция „Близкият космос – обща цел“ проведена в гр. Велико Търново. Другите четири статии са в съавторство с научния си ръководител.

Три от тях са представени с доклади и са отпечатани в сборниците на международни конференции: две на две издания на SPACE, ECOLOGY, SAFETY – 2022 и 2024 г., гр. София, България и една на IV International Symposium on Applied Geoinformatics – ISAG2024, гр. Вроцлав, Полша. Една статия е публикувана в списание Aerospace Research in Bulgaria. На всички статии докторантът е първи автор.

6. Оценка на автореферата

Авторефератът е с обем 66 страници. Той представлява кратко изложение на основните моменти на дисертацията. Структурата му съответства на дисертационен труд.

7. Съвместни публикации

Имам една съвместна публикации с дисертанта, но тя не е по темата на дисертацията. Не съм свързано лице с него по смисъла на параграф § 1 от Допълнителните разпоредби на ЗРАСРБ.

В публикациите и в дисертацията не съм забелязал плагиатство. Използваната литература е коректно цитирана.

8. Препоръки и забележи

Бих предложил в част трета „Резултати“, фигурите и графиките да бъдат като част от текста, не събрани в края в приложенията. Това би спомогнало за едно по-лесно възприемане на текста.

Заклучение

Независимо от направените забележки, дисертационния труд на докторант маг. Искрен Иванов отговаря на изискванията и е дисертабилен. Той представлява цялостно завършено научно изследване. Постигнатите

резултати и приноси имат научно и приложно значение за използването на дистанционни методи, ГИС и COX при изследване на обекти извън Земята. Чрез интегриране на хиперспектрални данни от инструмента Moon Mineralogy Mapper (M³), цифров модел на релефа (SLDEM2015), използване на диагностични спектрални индекси, спектрална библиотека RELAB, и глобална морфоложка мозайка на Луната е извършено комплексно картографиране на морфологията, минералния състав и наличието на тежки метали в лунния ударен кратер „Драйдън“, разположен в северозападната част на басейна „Аполо“ на обратната страна на Луната.

На базата на гореизложеното ще гласувам „ЗА“ присъждане на образователната и научна степен „ДОКТОР“ на докторант маг. Искрен Иванов в област на виеше образование 4. *Природни науки, математика и информатика*, професионално направление 4.4. *Науки за Земята, научна специалност „Дистанционни изследвания на Земята и планетите“*.

София,

г.

.....
/проф. д-р Г. Желев/

ВЯРНО С ОРИГИНАЛА

