

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени кандидата**  
**физико-математических наук Дьячковой Майи Викторовны на тему:**  
**«Анализ данных космических экспериментов для выбора районов посадок**  
**перспективных космических аппаратов на поверхность Луны и Марса» по**  
**специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия**

С целью успешного выполнения планирующихся космических миссий к Луне и Марсу, в рамках которых предусмотрена отработка мягкой посадки, забор грунта, орбитальная съемка, а в перспективе – создание лунной и марсианской роботических баз, необходим выбор перспективных районов для посадки на поверхность Луны и Марса. В этом отношении исследования, выполненные автором диссертационной работы, направлены на решение одной из актуальных проблем современной космической навигации. Проведенный в работе Дьячковой М.В. анализ структурных особенностей лунной поверхности позволит решить другую важную задачу по установлению мест наиболее пригодных для посадки космических зондов на поверхность Луны и Марса и созданию роботизированных баз.

Диссертационная работа Дьячковой Майи Викторовны включает введение, пять глав, заключение, список литературы. Объем диссертации составляет 158 страниц. В диссертации содержится 46 рисунков и 18 таблиц.

Во введении показана степень актуальности исследования, рассмотрены предмет исследования, условия проведения и предпосылки научного исследования, формулируются цели и задачи работы, показаны научная новизна работы, научная и практическая значимость работы, степень достоверности и апробация результатов, приводятся основные положения, выносимые на защиту, список публикаций диссертанта с изложением основных результатов в рецензируемых журналах, конференции и семинары, на которых были доложены основные результаты. В заключительной части введения описан личный вклад автора, и приводится структура и объём работы.

В **первой Главе** описан выбор районов посадки для космического аппарата «Луна-25» на основе анализа данных орбитального картографирования Луны. Уделено внимание анализу признаков повышенного содержания воды и летучих соединений в реголите по данным орбитального нейтронного зондирования Луны, рассмотрены возможные источники происхождения наносного лунного льда и описаны современные эксперименты по его обнаружению. Далее приводится анализ инженерных ограничений на районы посадок космического аппарата «Луна-25», к

которым относятся инженерные ограничения, связанные с особенностями траектории перелета аппаратов от Земли к Луне, параметрами окололунной орбиты и условиями процесса посадки и работы на лунной поверхности (учет освещенности, наклона и рельефа области прилунения), обеспечение наилучших условий радиосвязи. В следующем разделе описан метод выбора мест посадки, и даны параметры главных осей посадочного эллипса, которые составляют 30 км вдоль местного меридиана и 15 км вдоль местной параллели. Разработанный диссертантом метод основан на совместной обработке карт лунной поверхности, содержащих информацию о рельефе, освещенности и наличии летучих соединений в реголите. В результате методом наложения были определены характеристики 11 районов-кандидатов на места посадки для космического аппарата «Луна-25» и затем с помощью ранжирования предпочтительных условий оставлены три района. Также сделан вывод, что исследования в диссертации не позволили выбрать для КА «Луна-25» наиболее интересные в научном отношении полярные районы, и, как следствие, для миссии «Луна-27» должна быть разработана бортовая система высокоточной и безопасной посадки, которая позволит существенно повысить точность прилунения в заранее намеченный район.

Во **второй Главе** приведено описание геоинформационного обеспечения выбранных районов посадки для космического аппарата «Луна-25», которые были выбраны на основе морфометрических параметров, условий освещенности лунной поверхности Солнцем и радиовидимости. Затем были рассмотрены современные модели описания лунного рельефа. С использованием моделей «GLD100», «LOLA DEM», «SLDEM2013» и «NAC» был проанализирован рельеф для выбранных основного и запасного мест посадки, и определены параметры распределений значений высот в пределах выбранных основного и запасного эллипсов посадки для используемых цифровых моделей рельефа. Далее был выполнен анализ уклонов смежных областей в смоделированных рельефах с целью обеспечения безопасности прилунения. Для вычисления уклонов поверхности автор использовал два подхода: алгоритм четырёх ячеек и алгоритм Хорна. Затем было выполнено исследование по определению ориентации участка относительно потока солнечных лучей с целью выявления наиболее освещенных в течение лунного дня участков. Далее была описана работа по построению рельефа в границах выбранных эллипсов по данным лазерного альтиметра «LOLA», и выполнена верификация полученных моделей. В завершении Главы 2 была произведена оценка периодов освещенности и условий радиовидимости для выбранных основного и запасного эллипсов прилунения.

**Третья Глава** посвящена выбору районов посадки для космического аппарата «Луна-27» по результатам анализа данных орбитального картографирования Луны.

На основе сопоставления бинарных карт уклонов, освещенности Солнцем и видимости Земли была получена результирующая карта, демонстрирующая пригодность или непригодность района на поверхности Луны для прилунения. Данная карта «инженерной пригодности» была сопоставлена с картой распределения наличия наносного льда, и в зависимости от результатов сопоставления проведено ранжирование перспективных мест прилунения по уровням от 1 до 10. Рассмотрены случаи возможных отклонений относительно намеченной точки посадки в 5, 3 и 0,5 км, и определены шесть кандидатов, которыми ограничиваются все возможные места посадки заданного размера в заданном секторе с заданным уровнем пригодности. Получены характеристики районов-кандидатов в места посадки для космического аппарата «Луна-27» со следующими значениями радиусов – 5 км, 3 км, 0.5 км.

В четвертой Главе описаны результаты орбитального картографирования марсианского кратера Гейл, и рассмотрен эффект корреляции, который наблюдается между измерениями прибора «ДАН» (Динамическое Альbedo Нейтронов) на поверхности кратера Гейл и наличием гидратированных минералов, обнаруженных орбитальным прибором «CRISM» (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars) на космическом аппарате NASA «MRO» (Mars Reconnaissance Orbiter).

Пятая Глава посвящена совместному анализу данных орбитального картографирования кратера Гейл и измерений массовой доли воды на основе регистрации нейтронного альbedo. Определены корреляционные связи водородного эквивалента воды (ВЭВ) вдоль трассы движения марсохода «Curiosity» и наличия в нем полигидратированных сульфатов по данным спектрометра «CRISM» на борту MRO. Отождествление проведено для участка маршрута марсохода от места посадки до отметки пройденного пути в ~20 км. Получено, что интервалы траверса со спектральной характеристикой полигидратированных сульфатов, обнаруженных «CRISM», содержат больше воды в недрах по сравнению с интервалами, не проявляющими признаков ни одного из трех проанализированных типов гидратированных минералов. Этот результат показывает, что полигидратированные сульфаты существуют в некоторых местах вдоль траверса в виде слоев толщиной до 50 см, которые хорошо обнаруживаются «ДАН».

В **Заключении** автор формулирует основные результаты по проведенному диссертационному исследованию.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Все полученные при выполнении работ методы, научные положения, выводы и рекомендации полностью обоснованы и соответствуют высокому уровню

исследований в данной области. Подтверждением данного факта служит то, что использовались современные наблюдения и методы исследования. Диссертация написана понятным языком, все выводы и рекомендации проанализированы и доказаны.

**Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, являются достоверными, поскольку: I) использованные автором исходные данные были получены в процессе выполнения космических миссий; II) применяемые в работе методы апробированы, что подтверждается публикациями автора в журналах, научный уровень которых не подлежит сомнениям. Основные выводы и рекомендации представлялись автором в ходе устных докладов на всероссийских и международных конференциях, проводимых в том числе в ИКИ РАН.

**Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Полученные результаты характеризуются высокой степенью научной новизны, что подтверждается впервые выполненными исследованиями по анализу структурных и вещественных параметров небесных тел с использованием данных современных космических миссий.

#### **Замечания по диссертационной работе**

1. На стр. 9 в тексте Задачи 6 сочетание «...поверхности этих районов» на мой взгляд лучше было бы заменить на более широкое определение «...на марсианской поверхности».
2. На стр. 9 в предложении «Впервые была произведена оценка южной полярной области Луны на предмет ее пригодности для посадки космического аппарата «Луна-27» с учетом возможной точности посадки от 0,5 до 5 км» (а также в других аналогичных участках текста) не определено, о какой точности идет речь – о точности плановых координат или высотных данных.
3. Стр. 12 В тексте «Эти данные прошли апробацию в рамках их широкого использования научной планетной общественностью по планетным исследованиям» более правильным было бы сказать «...использования при проведении планетных исследований».
4. Стр. 13 в тексте в разделе «Основные положения, выносимые на защиту» Пункт 2: «Предложен список районов-кандидатов для посадки космического аппарата «Луна-25», на основе приоритизации этих кандидатов с учетом научных и инженерных требований отобраны основной и запасной районы посадки»

предложение внутренне не сочетается.

5. Стр. 16 согласно тексту «Всего автор диссертационной работы является соавтором 15 научных статей по тематике диссертационной работы в реферируемых научных журналах, среди которых 4 публикации в журналах первого квартиля (Q1)» возникает вопрос, почему эти статьи не вошли в основной список публикаций диссертанта.
6. Стр. 16 согласно приведенному тексту «Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав...» на самом деле в диссертации 5 глав. Хотя после знакомства с работой создается впечатление, что 4 и 5 Главы диссертации более логично было бы объединить в одну Главу, так как в 4-ой Главе дается обзор работ по исследованию марсианского кратера Гейл, а в 5-ой – применяются описанные в 4-ой Главе результаты для совместного анализа данных орбитального картографирования кратера Гейл и измерений массовой доли воды на основе регистрации нейтронного альbedo.
7. Стр. 17 приведен текст «...что вода и другие летучие вещества, принесённые на Луну многочисленными кометами и астероидами» логичнее было бы написать «...многочисленными кометами и метеоритами».
9. Часто в тексте диссертации упоминается сочетание «лунная вода», более правильно было бы говорить «лунный лед».
8. Стр. 60 в тексте «С математической точки зрения, цифровая модель рельефа представляет собой модель скалярного геополя, которое описывает пространственное распределение значений высоты» следовало бы более предметно пояснить, что означает термин «скалярное геополе»?
9. К сожалению, в диссертации не приведен обзор миссий СССР и США, в ходе которых осуществлялись прилунения.
10. Также не проведен анализ современных работ по миссии ChangE-4, в которой осуществлено прилунение на обратную сторону Луны, и приземлений на поверхность Марса.
11. В диссертации не обоснован выбор приполярных областей в качестве зон для прилунения по результатам анализа современных научных трудов.
12. Стр. 126 в тексте «В настоящее время для задачи выбора мест посадки космического аппарата «Луна-27» доступно большое количество актуальных данных, которые часто имеют более высокое пространственное разрешение по сравнению с данными, использованными при выборе мест посадки для космического аппарата «Луна-25» непонятно, почему для выбора места посадки в рамках миссий «Луна-25» и «Луна-27» следует использовать разные данные.
13. В Главе 4 в параграфах 4.2 и 4.3 не определено, какие именно результаты были

получены автором диссертационного исследования.

14. Общее замечание, нужно было более понятно отобразить связь между разделами диссертации, так как, например, переход от Главы 3 к Главе 4 носит логически непоследовательный характер.
15. На стр. 139 приведено очевидное заключение: «Считается, что два распределения статистически различны, если вероятность их совпадения достаточно мала». При этом данное заключение вскоре повторяется в тексте: «Считается, что два распределения статистически различны, если вероятность их совпадения (р-уровень) достаточно мал...».
16. Из текста Главы 5 не совсем понятно, как Глава 5 соотносится непосредственно с целью диссертационной работы «Выбор районов посадок перспективных космических аппаратов на поверхность Луны и Марса».
17. Также на стр. 154 предложение «Отождествлены районы вдоль трассы движения марсохода, для которых такая корреляция наблюдается» подразумевает, что данные районы будут координатно обозначены, но такая информация отсутствует.
18. В Заключение желательно было бы рассмотреть перспективы дальнейшего развития исследований, выполненных в диссертационной работе
19. В Заключение и в диссертации в целом не показано, в каких российских организациях могут быть использованы полученные в диссертации результаты
20. Как пожелание, хорошо было бы в конце Заключения поместить благодарности сотрудникам, участвовавшим в совместных исследованиях по диссертации и научному руководителю.
21. В диссертации не упоминается влияние на планируемые места прилунения точности координатно-временного обеспечения и влияния физической либрации Луны.

Помимо замечаний 1–21 встречаются опечатки и другие синтаксические неточности. Например:

1. Стр. 7 в предложении: «состав которых может указывать на существование на раннем Марса условий для зарождения примитивной жизни» выбран неправильный падеж для Марса.
2. Стр. 8 в тексте «Однако локальные условия таких измерений на позволяют...» присутствует частица «на» вместо «не».
3. Стр. 9 написано «нет перехода и связи задач 1 – 5 с задачей 6».
4. Стр. 10 в тексте «Была произведена оценка качества имеющихся цифровых моделей рельефа, а также созданы дополнительные модели на основе сырых данных лазерного альтиметра «LOLA» вместо слова «сырых» лучше использовать «предварительных».

5. Стр. 13 в тексте «1. Разработан метод выбора мест посадки космических аппаратов на поверхность Луны на основе пространственного анализа данных орбитальных измерений с учетом требований безопасности посадки и научных задач, стоящих перед миссией» не закончено предложение.
6. Стр. 15 в предложении «По результатам диссертации опубликовано четыре статьи в рецензируемых изданиях, в написании которых автор сыграл ключевую роль» вместо слова «сыграл» лучше использовать «автор внес основной вклад».
7. Стр. 34 в тексте «Все эти районы отвечают критериям безопасности посадки и имеют значительное содержание воды в реголите, что должно способствовать успешной миссии «Луна-25» слово «успешной» следовало бы заменить на «успеху».
8. В Главе 2 Рисунки 2.1- 2.8, 2.14, 2.15 - 2.31 неправильно ориентированы по селенографической широте.
9. Стр. 111 в тексте «приведет в том числе к улучшению научного потенциала посадочной территории в связи с большей распространенностью именно в западном полушарии подповерхностного водяного льда по данным российского прибора «ЛЕНД» на борту «LRO» [16]» название «ЛЕНД» лучше было бы написать как «LEND», кстати, такое пожелание было бы уместно и ко всему тексту диссертации, названия пишутся то латиницей, то кириллицей, нужно было бы выбрать единый формат для обозначений.
10. В Главе 5 в тексте на стр. 148 «Верхние поверхности такой материи наблюдаются прибором «CRISM» с марсианской орбиты, а их более глубокие объемы обнаруживаются «ДАН» с поверхности Марса» слово «объемы» лучше было бы заменить на слово «слои».
11. Там же в тексте «Компонент «низкий ВЭВ» мог быть связан с «обычной» материей» не понятен термин «обычной».
12. Стр. 153 в предложении «Для этого использовались данные, полученные с помощью пассивных измерений прибора «ДАН» на борту марсохода «Кьюриосити», а также спектрометра «CRISM» на спутнике «MRO» вдруг название «Curiosity» появилось на кириллице, хотя перед этим было на латинице.

Все указанные замечания не носят принципиального характера и не умаляют значимости диссертационного исследования.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в четырех статьях в рецензируемых научных изданиях и доложены на российских и международных конференциях.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в работах, опубликованных в ведущих научных журналах.

Диссертация «Анализ данных космических экспериментов для выбора районов посадок перспективных космических аппаратов на поверхность Луны и Марса» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и полностью удовлетворяет требованиям "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Дьячкова Майя Викторовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 "Физика космоса, астрономия".

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ), Институт физики, профессор Кафедры астрономии и космической геодезии, директор Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта

Нефедьев Юрий Анатольевич

20.11.2023

Контактные данные: тел. +7 (843) 292-77-97, e-mail: star1955@mail.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:  
01.03.01 астрометрия и небесная механика.

Адрес места работы:

420008, г. Казань, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет» (ФГАОУ ВО КФУ), Институт физики, Кафедра астрономии и космической геодезии

тел. +7 (843) 292-77-97, e-mail: star1955@mail.ru

Подпись профессора КФУ Ю.А. Нефедьева  
удостоверяю:

