

«УТВЕРЖДАЮ»:

Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук,
профессор А.А. Федянин



« 11 » ноября

2023 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации

(Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1) на диссертационную работу ДЬЯЧКОВОЙ Майи Викторовны на тему «Анализ данных космических экспериментов для выбора районов посадок перспективных космических аппаратов на поверхность Луны и Марса» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.3.1 – Физика космоса, астрономия»

В настоящее время полярные районы Луны являются приоритетной целью для исследования. Основными деталями рельефа полярных областей Луны являются ударные кратеры. В районе южного полюса Луны расположен один из самых крупных ударных бассейнов Солнечной системы - бассейн Южный полюс-Эйткен диаметром более 2500 км. Малое наклонение оси вращения Луны к плоскости орбиты (1.54°) обуславливает наличие постоянно затененных областей в понижениях рельефа и постоянно освещенных областей на возвышенностях полярных районов. Отложения летучих соединений в реголите и в том числе водяного льда в таких областях, обнаруженные некоторыми космическими аппаратами, являются важным фактором для создания постоянной лунной базы на поверхности спутника Земли. Ряд миссий различных стран в последние годы занимались изучением этих районов, включая японскую “Kaguya”, американские “Lunar Prospector”, LRO, “LCROSS”, индийскую “Chandrayaan”. Первые две индийские станции “Chandrayaan-1, 2”, запущенные в 2008 г. и 2019 г., разбились. Неудача постигла и российский аппарат «Луна 25», совершивший жесткую посадку 19

августа 2023 г. Первая мягкая посадка аппарата «Чандрайян- 3» в приполярном районе была успешно осуществлена 23 августа 2023 г.

Диссертация М.В. Дьячковой посвящена одному из самых **актуальных** направлений современных исследований Солнечной системы – изучению поверхностей Луны и Марса, в частности, выбору мест посадок для КА «Луны 25, 27», и исследованию собственного нейтронного излучения Марса. Эти работы выполнены на основе данных российских нейтронных детекторов «ЛЕНД» (Лунный исследовательский нейтронный детектор), расположенных на КА НАСА «Lunar Reconnaissance Orbiter» и «ДАН» (Динамическое альбедо нейтронов) на КА «Кьюриосити». В диссертации использовались результаты и других космических проектов, таких как «LOLA», «LROC» на «LRO», «ТС» на «Kaguya», «CRISM» на «MRO». Детекторы ЛЕНД и ДАН подтвердили факт повышенной концентрации воды в полярных областях Луны и позволили оценить массовую долю воды в веществе Марса непосредственно под колесами марсохода.

Диссертационная работа М.В. Дьячковой состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 158 страниц текста, 46 рисунков и 18 таблиц. Список цитируемой литературы состоит из 74 наименований.

Во **введении** автор диссертации обосновывает следующие положения: актуальность темы исследования; предмет исследования; условия проведения и предпосылки научного исследования; цели и задачи работы; научную новизну работы; научную и практическую значимость работы; степень достоверности и апробацию результатов; основные положения, выносимые на защиту; список публикаций с изложением основных результатов в рецензируемых журналах и в трудах конференций; личный вклад автора; структуру и объём работы.

Первая глава посвящена выбору районов посадки для космического аппарата «Луна-25» на основе анализа данных орбитального картографирования Луны. В качестве научного критерия автор предлагает

использовать карты распространённости воды (рисунок 1.1), построенные на основе анализа данных нейтронных измерений прибора «ЛЕНД». М.В. Дьячкова разработала метод, основанный на применении пространственного анализа, который предусматривает совместную обработку карт лунной поверхности, содержащих информацию о рельефе, освещённости и наличии летучих соединений в реголите. Из списка 11 районов-кандидатов автором был составлен «короткий» список, включающий основной район №1 и два запасных района посадки – №4 и №6. Основным местом посадки был выбран район № 1 (68.773° ю. ш.; 21.210° в. д.), расположенный к юго-западу от кратера Манцини. Однако, в результате совещаний рабочей группы по выбору мест посадки, включающей в себя специалистов из НПО им. Лавочкина, госкорпорации «Роскосмос», ИКИ РАН основным местом посадки стал район №6 (69.545° ю. ш., 43.544° в. д.), а запасным – район №1. Выполненный автором анализ показал, что работа с таким большим эллипсом рассеяния с осями 30 и 15 км, не позволяет наметить для посадки аппарата «Луна-25» наиболее интересные в научном отношении районы. Автор отмечает, что для будущего лунного полярного проекта «Луна-27» должна быть разработана бортовая система, которая позволит существенно повысить точность посадки. Оси эллипса разброса для этого проекта составят несколько километров. Интересно, что в январе 2024 года японский аппарат SLIM, уже сближавшийся с Луной, должен совершить высокоточную посадку в пределах 100 м от намеченной цели - кратера диаметром всего 270 метров.

Замечание к первой главе: В самом начале главы автор ссылается на работу Watson et al [21], опубликованную в 1961 году, в которой якобы впервые приведены результаты исследований полярных областей Луны. На самом деле Гарольд Юри был первым, кто обратил внимание на особые условия на полюсах Луны в его книге (Urey H.C. 1952, *The Planets. Their Origin and Development*. Yale University Press. New Haven. C.T., 265 pp.) опубликованной на девять лет раньше.

В главе 2 «Геоинформационное обеспечение выбранных районов посадки для космического аппарата «Луна-25» подробно рассмотрены модели рельефа для основного и запасного районов посадки КА «Луна-25». Составлены 29 гипсометрических карт, карт уклонов поверхности, карт экспозиций на основе данных лазерного альтиметрирования КА «LRO» и «Kaguya». Рассмотрены цифровые модели рельефа: «GLD100», «LOLA DEM» 30 м, «LOLA DEM» 60 м, «SLDEM2013», «NAC_DTM_BOGUSLAWSKY1». Приведены параметры распределений значений уклонов поверхности и параметры распределений экспозиции склонов в пределах выбранного основного эллипса посадки в зависимости от используемых цифровых моделей рельефа и алгоритмов вычисления. Автором проделана большая работа по анализу рельефа лунной поверхности.

Замечания к главе 2. Подписи горизонталей на рисунках 2.25 и 2.26 не читаются. Часть горизонталей на рисунках 2.1 - 2.8 и 2.14 подписаны «вниз головой».

Глава 3 посвящена выбору районов посадки для космического аппарата «Луна-27» на основе анализа данных орбитального картографирования Луны.

Приборы на его борту предназначены для исследований южнее параллели «минус 80°», определения состава, структуры и физико-механических свойств лунного реголита, пылевой и плазменной экзосферы. В главе дано описание космического аппарата «Луна-27», краткое описание южной полярной области Луны, приведены критерии для выбора мест посадки космического аппарата. Автором построены Карта эквивалентного содержания воды (ВЭВ) в подповерхностном слое лунного грунта для видимой стороны южного полярного региона Луны, Карта средней освещенности Солнцем поверхности, Карта уклонов поверхности, Карта средней видимости Земли, используемые в анализе поверхности видимой стороны. Методика выбора мест посадки КА «Луна-27» рассмотрена при разных точностях посадки в 5 км, 3 км и 0.5 км. Приведены характеристики шести районов-кандидатов в местах посадки с радиусом 5 км, пятнадцати

районов с радиусом 3 км и 23 районов с радиусом 0.5 км. Автор отмечает, что уменьшение площадки посадки до размеров 0.5 км позволит выбрать место посадки, обеспечить его безопасность и решение научных задач.

Замечание к главе 3: стоило бы выбрать на основе характеристик таблицы 3.3 самый подходящий участок для посадки КА «Луна 27».

В главе 4 «Данные орбитального картографирования кратера Гейл» автор использует опыт проведения пространственного анализа при выборе мест посадок для КА «Луна-25» и «Луна-27», позволяющий выявить связи между данными, полученными от приборов «ДАН» и «CRISM». Эти взаимосвязи могут свидетельствовать о наличии водных структур в реголите Марса. Отложения на современной поверхности кратера Гейл представляют собой естественную запись геологической эволюции Марса. М.В. Дьячкова построила Карту распределения значений содержания воды от места посадки до марсианских суток 2218 марсохода «Curiosity». Для перекрестного анализа с данными прибора «ДАН» автор использовала данные спектроскопического прибора «CRISM» в виде мозаики снимков, отметив, что отложения гидратированных минералов, которые распространяются от самой поверхности и до глубины около 50 см, должны обнаруживаться обоими приборами: «CRISM» с орбиты и «ДАН» с поверхности.

Перекрестный анализ наличия гидратированных минералов представлен в главе 5 «Совместный анализ данных орбитального картографирования кратера Гейл и измерений массовой доли воды на основе регистрации нейтронного альбедо». Метод перекрестного анализа данных «ДАН» и «CRISM» основан на сравнении распределения средних значений ВЭВ для тестируемой группы пикселей «CRISM». Автор делает вывод, что на маршруте от места посадки до расстояния около 20 км наличие полигидратированных сульфатов на поверхности, наблюдаемое «CRISM», согласуется с увеличением значений ВЭВ в пределах подповерхностного слоя толщиной около 50 см, измеренными «ДАН».

Замечание к главе 5: в диссертации упоминается разная толщина

исследуемого подповерхностного слоя. На страницах диссертации замечены опечатки.

Упомянутые выше замечания не влияют на весьма высокую оценку рассматриваемой диссертационной работы.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в четырех статьях в рецензируемых научных изданиях, а также в докладах на девятнадцати международных и отечественных конференциях.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Заключение ведущей организации по диссертации

Диссертационная работа М.В. Дьячковой «Анализ данных космических экспериментов для выбора районов посадок перспективных космических аппаратов на поверхность Луны и Марса» выполнена на высоком научном уровне и соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присвоения степени кандидата физико-математических наук по специальности «1.3.1 – Физика космоса, астрономия».

Отзыв принят на заседании Координационного Совета по астрофизике Государственного астрономического института имени П.К. Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова. На заседании присутствовало 19 члена Совета из 28. Результаты голосования: «за» – 19; «против» – 0; «воздержалось» – 0.
Протокол № 18 от «01» ноября 2023 г.

Отзыв составила


старший научный сотрудник

Отдела исследования Луны и планет ГАИШ МГУ
(119234, Москва, Университетский проспект, д. 13)

кандидат физико-математических наук

 Ж.Ф. Родионова

Председатель Координационного совета
по астрофизике ГАИШ МГУ
доктор физико-математических наук

 А.С. Гусев

Директор ГАИШ МГУ

доктор физико-математических наук, профессор

 К.А. Постнов

