

Отзыв официального оппонента на диссертацию М.В. Дьячковой

«Анализ данных космических экспериментов для выбора районов посадок перспективных космических аппаратов на поверхности Луны и Марса»

Диссертация М.В. Дьячковой посвящена исследованию выбора районов посадок космических аппаратов «Луна-25» и «Луна-27» в полярных областях Луны и анализу орбитальных данных по минеральному составу поверхности Марса и данных марсохода «Curiosity» по содержанию воды в кратере Гейл для поиска перспективных районов. Главная цель декларирована как «Изучение геоморфологических свойств поверхностей Луны и Марса с помощью методов пространственного анализа данных орбитального картографирования, а также разработка метода выбора мест районов посадки космических аппаратов, учитывающего предъявляемые научные и инженерные требования». Основным мотивом и предпосылкой данного исследования была необходимость выбора потенциальных мест посадок в районе Южного полюса посадочных аппаратов «Луна-25» и «Луна-27». Для достижения данной цели автором поставлены задачи (1) анализа данных орбитальных наблюдений полярных областей Луны с точки зрения требований безопасности посадки и работы космических аппаратов и научного потенциала, (2) разработки метода выбора мест посадки на поверхность Луны с учетом технических особенностей посадочного аппарата и его научных задач, (3) выработки длинного списка районов-кандидатов для посадки космического аппарата «Луна-25» и выработки критериев для формирования короткого списка на основе приоритизации, (4) построения геоинформационных численных моделей поверхности для приоритетных районов-кандидатов, (5) применения метода выбора мест посадки для формирования списков кандидатов для мест посадки для космического аппарата «Луна-27», (6) выявления связи между минеральным составом грунта с орбитального прибора «CRISM» и данных о массовой доле воды в грунте с прибора «ДАН» на борту марсохода для выбора наиболее перспективных

районов на Марсе. Актуальность работы в подобной постановке не вызывает сомнений, а научная новизна работы подтверждается разработанным автором методом выбора мест посадок космических аппаратов на поверхность Луны на основе данных орбитального картографирования с использованием методов пространственного анализа.

Автором исследуется, прежде всего, рельеф, топография и морфометрические параметры поверхности Луны с целью создания надежной инженерной модели лунной поверхности в потенциальных местах посадок. В основе исследований анализ большого объема научных данных, полученных орбитальными и посадочными космическими аппаратами при изучении поверхности Луны и Марса. Объем диссертации – 158 стр., включая Введение, пять глав, Заключение и Список литературы. Работа содержит 46 рисунков и 18 таблиц. Библиографический список к работе включает 74 наименования. Работа хорошо оформлена, стиль изложения ясный. Все основные выводы хорошо аргументированы и подкреплены фактическим материалом.

Содержание первой главы посвящено выбору районов посадки для посадочного аппарата Луна-25 по данным орбитального картирования с учетом распределения воды и летучих соединений и технических требований к безопасности посадки. В качестве научного критерия используются карты распространения воды по данным нейтронных измерений прибора «ЛЕНД». В качестве инженерных ограничений рассматривается угол падения солнечных лучей, который не должен превышать 20°, уклон поверхности не более 7°, максимальная продолжительность радиовидимости, которая должна максимально перекрываться с периодами освещенности района посадки. Здесь же рассматривается разработанный автором метод выбора посадки на основе пространственного анализа данных, который предусматривает совместную обработку карт лунной поверхности, содержащих информацию о рельефе, освещенности и наличии летучих соединений в реголите, и на основе которого выбираются потенциальные места посадок для посадочных аппаратов Луна-25 и Луна-27.

К этой главе имеются следующие замечания: Постоянно употребляемый термин вода, пожалуй, следовало бы заменить более правильным и точным термином водяной эквивалент водорода. При описании метода пространственного анализа используются разные типы карт с разным пространственным разрешением, например, карта уклонов с разрешением 60 м, а карта освещенности с разрешением 240 м. При преобразовании этих карт в бинарную форму не указано разрешение общего пикселя, к которому эти карты должны быть предварительно взаимно адаптированы перед их перемножением и получением на их основе карты пригодности. Затем карта пригодности с неизвестным разрешением также перемножается на карту содержания воды, разрешение которой также не указано. Таким образом, остается непонятным разрешение ранжированной по содержанию воды карты пригодности, тем более, что на ее основе формируется индекс ранжирования всех учитываемых параметров и выбирается основной и запасной районы посадки.

В главе 2 рассмотрены имеющиеся цифровые модели рельефа Южной полярной области Луны по данным широкоугольной камеры «WAC», лазерного альтиметра «LOLA» и узкоугольной камеры «NAC» КА «LRO», и КА «Кагуя» и дается их сравнительный анализ. Автор также умело и квалифицированно использует алгоритм нерегулярных триангуляционных сетей для создания на основе данных лазерного альтиметра «LOLA» цифровой модели рельефа на выбранные районы. В результате анализа большого объема фактического материала были разработаны инженерные модели поверхности потенциальных районов посадки, включающие информацию о высоте рельефа, уклонах, экспозиции склонов, степени освещенности и радиовидимости. На основе инженерных или геоинформационных моделей были предварительно отобраны 11 наиболее перспективных районов посадки, из которых по данным пространственного анализа и морфометрических параметров были выбраны основной и запасной районы.

Что касается основных замечаний ко 2 главе, то в созданной автором цифровой модели рельефа основного и запасного районов на основе нерегулярных триангуляционных сетей не указано горизонтальное разрешение построенных карт, что не позволяет сравнить их по этому параметру с имеющимися ЦМР. Также хотелось бы отметить, что диссертация и квалификация автора только бы выиграли, если бы автор кроме использования имеющихся ЦМР самостоятельно осуществила выбор стереопар снимков высокого разрешения с использованием бесплатного специализированного программного обеспечения NASA для обработки метаданных ISIS (Integrated Software for Imagers and Spectrometers) и далее с помощью метода фотограмметрии, например, с помощью также доступной программы ASP (Ames Stereo Pipeline), создала свою авторскую эталонную цифровую модель рельефа с высоким разрешением.

В развитие разработанного автором метода пространственного анализа в 3 главе логически рассматривается выбор и анализ потенциальных районов посадки для посадочного космического аппарата Луна-27. Основные критерии, применяемые для выбора района, подразделяются на научные, которые используются в качестве рекомендательных, и инженерные, которые жестко ограничивают выбор и являются приоритетными. В качестве главного научного критерия оправданно используется распределение концентрации водяного эквивалента водорода и выбор районов с его повышенным содержанием. В качестве инженерных ограничений учитывается безопасный уклон поверхности менее 7 градусов, степень освещённости не менее 35% или не менее 10 земных суток и видимость Земли не менее 50%. Как и при выборе района посадки Луна-25 используются ранжированные карты пригодности. Вместо эллипса посадки 15x30 км, который из-за сложности рельефа в районе Южного полюса сделает посадку невозможной, рассматриваются три случая, когда возможные отклонения относительно намеченной точки посадки соответствуют разбросу в 5, 3 и 0,5 км. На основе анализа богатого фактического материала автор убедительно показал, что с увеличением

точности посадки значительно увеличивается количество потенциальных районов посадки, удовлетворяющих прежде всего научным, а не техническим критериям безопасности при выборе района.

В качестве замечаний к этой главе хотелось бы отметить следующие: Автором говорится, что для более детальных ЦМР и построения карты уклонов на базе первых метров по сравнению с имеющимися на базе нескольких десятков метров могут быть использованы стереопары снимков с камер «NAC» «LRO». Это не так, из-за особенностей полярной орбиты космического аппарата «LRO» стереопары с необходимым углом наклона для получения ЦМР высокого разрешения методом фотограмметрии на полярные области практически отсутствуют. Те, кто пытался найти такие стереопары с помощью программы ISIS на немногочисленные освещенные участки, хорошо это знают. Кроме того, значительные области в полярных областях характеризуются значительным периодическим или постоянным затенением, в которых этот метод неприменим. В то же время ничего не сказано о том, что плотность высотных треков альтиметра «LOLA», которые сходятся в полярном районе, настолько плотная и многочисленная, что с помощью алгоритма триангуляционных сетей позволяет построить ЦМР и карты уклонов с разрешением в первые метры. И такие ЦМР высокого разрешения на полярные районы активно создаются и у нас, и за рубежом.

Главы 4 и 5 посвящены выбору на основе пространственного анализа орбитальных и наземных данных перспективных участков с повышенным содержанием воды в кратере Гейл на Марсе. В главе 4 описаны принципы картирования гидратированных минералов прибором «CRISM» на орбитальном космическом аппарате NASA «MRO» и картирование водяного эквивалента водорода нейтронным спектрометром «ДАН» на борту марсохода «Curiosity». В главе 5 анализируется хорошо документированная и очень тщательно изученная корреляция данных по распределению гидратированных минералов с орбитального аппарата и содержания водяного эквивалента водорода по маршруту марсохода. Интересные и актуальные исследования

автора показали, что участки с полигидратированными сульфатами по данным спектральной орбитальной съемки также содержат больше воды по данным прибора «ДАН» на марсоходе. И напротив, отсутствие такой корреляции с распределением филлосиликатов и моногидратированных сульфатов с данными нейтронного спектрометра, по-видимому, указывает на небольшую толщину этих отложений, которая недостаточна для обнаружения прибором на марсоходе. В качестве даже не замечания, а пожелания к этой главе хотелось бы видеть модельную количественную оценку толщины отложений с филлосиликатами и моногидратированными сульфатами, при которой они могли бы быть обнаружены нейтронным спектрометром «ДАН».

Приведенные замечания рецензента не влияют на положительную оценку работы, которая является квалифицированным научным исследованием. Разработанный автором метод пространственного анализа с использованием большого фактического материала показал свою научную значимость и практическую применимость для выбора, оценки и детального анализа с использованием научных и инженерных критериев потенциальных районов для посадочных аппаратов Луна-25 и Луна-27, а также для поиска и выбора наиболее перспективных по содержанию воды районов на Марсе. Несомненно, что М.В. Дьячкова заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник, заведующий
лабораторией геохимии Луны и планет
Института геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского (ГЕОХИ РАН)

 Е.Н. Слюта

119991, Москва, ГСП-1, ул. Косыгина 19, ГЕОХИ РАН

21.11.2023

Тел.: (495) 939-28-92

E-mail: slyuta@geokhi.ru

