

## РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ПРЕДПОЛАГАЕМЫХ МЕСТ ПОСАДКИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЛУНУ

© 2024 г. Ю. С. Бондаренко<sup>1</sup>\*, Д. А. Маршалов<sup>1</sup>, Б. М. Зиньковский<sup>2</sup>, А. Г. Михайлов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>АО “ОКБ МЭИ”, Москва, Россия

Поступила в редакцию 04.07.2023 г.

После доработки 27.11.2023 г.; принята к публикации 26.12.2023 г.

Представлены новые радиолокационные изображения и поляриметрические данные предполагаемых мест посадки российского космического аппарата Луна-25 вблизи кратеров Манцини и Богуславский в южном полярном регионе Луны. Изображения были получены с использованием 64-м антенны ТНА-1500 Центра космической связи ОКБ МЭИ “Медвежья озёра” и 13.2-м радиотелескопа РТ-13 Обсерватории “Светлое” ИПА РАН, в бистатической конфигурации на длине волны 4.2 см. На этой длине волны радиолокационные сигналы могут проникать в реголит на глубину до 1 м и чувствительны к поверхностным и взвешенным породам диаметром около 1 см и более. Пространственное разрешение порядка 80 м было достигнуто за счет алгоритма фокусированной обработки, позволяющего избежать размытия радиолокационного изображения при длительном времени интегрирования. Измерения шумовой температуры приемной системы на протяжении всего сеанса наблюдений обеспечили надежную оценку отношения круговых поляризаций (*CPR*) эхо-сигнала. Анализ полученных радиолокационных изображений выявил области с высоким радиолокационным рассеянием и *CPR*. Проведена оценка количества и распределения камней и неровностей, соразмерных длине волны излучения, на поверхности и в приповерхностном слое реголита. В результате проведенного анализа радиолокационных данных сделан вывод, что поверхность и приповерхностный слой реголита основного района более гладкие, чем у резервного, что делает его предпочтительным для предполагаемой посадки. Таким образом, полученные в результате работы новые радиолокационные изображения и карты *CPR* могут быть использованы при планировании будущих лунных миссий.

*Ключевые слова:* Луна, Луна-25, места посадки, радиолокационные изображения, радиолокационное рассеяние, отношение круговых поляризаций.

DOI: 10.31857/S0320010824010096, EDN: OQXKWN

### ВВЕДЕНИЕ

В 2023 г. была запланирована посадка автоматической межпланетной станции Луна-25 в районе южного полюса Луны для исследования верхнего слоя поверхности, экзосферы, построения карты неоднородности поверхности и отработки технологий безопасной посадки в области с неровным рельефом (Митрофанов и др., 2021). Район посадки выбирался исходя из широты места, массовой доли воды в верхнем слое реголита, гладкости и уклона поверхности, лишенной, по возможности, крупных камней, представляющих серьезную угрозу для спускаемого космического аппарата (КА). По этим критериям, были выбраны основной и резервный районы посадки, расположенные вблизи кратеров Богуславский и Манцини (Дьячкова и др., 2017). Эти районы определены “эллипсами разброса” ожидаемых точек посадки относительно

“точки прицеливания” и имеют главные оси 30 км вдоль местного меридиана и 15 км вдоль местной параллели с селенографическими координатами центров 69.55° ю.ш., 43.54° в.д. и 68.77° ю.ш., 21.21° в.д. соответственно. При выборе площадок использовались данные нейтронных измерений прибора LEND (Lunar Exploration Neutron Detector), а также цифровые модели рельефа, полученные с помощью оптических камер инструмента LROC (Lunar Reconnaissance Orbiter Camera) и лазерного альтиметра LOLA (Lunar Orbiter Laser Altimeter), установленных на борту КА LRO (Lunar Reconnaissance Orbiter) (Дьячкова и др., 2021). Однако авторы работы не учитывали радиолокационные измерения, которые позволяют исследовать физические свойства поверхности и приповерхностного слоя реголита. Такие данные, например, были получены с помощью инструмента Mini-RF (Miniature Radio-Frequency), также размещенного на КА LRO (Нозет и др., 2010) и 300-м локатора

\* Электронный адрес: bondarenko@iaaras.ru

обсерватории “Аресибо”. В результате серии наблюдений на длине волны 12.6 см, выполненных с 2012 по 2015 г., были получены радиолокационные изображения и поляризационные данные различных районов видимой стороны Луны с разрешением порядка 100 м (Паттерсон и др., 2017). Ранее, до появления КА LRO был проведен ряд наземных радиолокационных бистатических наблюдений Луны с использованием локатора обсерватории “Аресибо” и 100-м радиотелескопа обсерватории “Грин-Бэнк” на длинах волн 70 см (Кэмпбелл и др., 2007) и 12.6 см (Кэмпбелл и др., 2010). Результатом этих экспериментов стали радиолокационные карты порядка 70% поверхности видимой стороны Луны с пространственным разрешением, усредненным до 80 м на пиксель.

В данной работе получены новые радиолокационные изображения и поляризационные данные для основного и резервного районов посадки КА Луна-25 с пространственным разрешением порядка 80 м на длине волны 4.2 см. В статье представлены технические подробности эксперимента, описан метод получения радиолокационных изображений, выполнено сравнение полученных данных с оптическими изображениями камеры LROC и по результатам анализа поляризационных измерений дана оценка количества и распределения камней и неровностей, соразмерных длине волны излучения, на поверхности и в приповерхностном слое реголита.

## ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Радиолокационные бистатические наблюдения основного и резервного районов посадки КА Луна-25 проводились с использованием 64-м антенны ТНА-1500 Центра космической связи ОКБ МЭИ “Медвежьи озёра” и 13.2-м радиотелескопа РТ-13 Обсерватории “Светлое” ИПА РАН. Основными задачами антенны ТНА-1500 являются управление космическими аппаратами в ближнем и дальнем космосе и радиоастрономические исследования (Жуков и др., 2023). Ее технические средства обеспечивают передачу радиолокационного сигнала мощностью до 2 кВт в диапазоне частот 7145–7235 МГц. Радиотелескоп РТ-13 используется в основном для проведения астрометрических наблюдений внегалактических радиисточников в составе российской РСДБ-сети “Квazar-КВО” (Шуйгина и др., 2019). РТ-13 оснащен высокочувствительным трехдиапазонным приемником, обеспечивающим регистрацию сигналов шириной до 512 МГц в диапазоне частот от 7 до 9.5 ГГц (Евстигнеев и др., 2020).

Радиолокационные наблюдения проводились 30 марта 2023 г. с 14:00 до 16:00 UTC, когда южный полюс Луны был максимально повернут к Земле.

Антенна ТНА-1500 облучала поверхность Луны модулированным сигналом мощностью 1.5 кВт в левой круговой поляризации на длине волны 4.2 см (7190 МГц), а радиотелескоп РТ-13 принимал отраженные эхо-сигналы. При этом размер облучаемой области на поверхности Луны в текущей бистатической конфигурации определялся проекцией главного лепестка диаграммы направленности 64-м антенны и составлял порядка  $300 \times 600$  км. Селенографические координаты цели ( $65.0^\circ$  ю.ш.,  $30.0^\circ$  в.д.) были выбраны так, чтобы оба района посадки, расположенные на расстоянии порядка 250 км друг от друга, одновременно попадали в облучаемую область. Сопровождение цели на всем интервале наблюдений проводилось по заранее вычисленным эфемеридам (Маршалов и др., 2018) для каждой из антенных систем.

Излучаемый сигнал модулировался с использованием двоичной фазовой манипуляции, при которой фаза несущей частоты принимает одно из двух значений, 0 или  $\pi$ , через интервалы времени  $\tau = 0.5$  мкс в соответствии с повторяющейся псевдослучайной последовательностью длиной 32767 элементов (бодов). Для регистрации отраженного сигнала в диапазоне частот от 7186 до 7194 МГц мы использовали два канала приемной системы радиотелескопа РТ-13 с левой и правой круговыми поляризациями, поскольку при отражении от гладких, обращенных к радару участков поверхности с размерами, сопоставимыми с длиной волны излучения, круговая поляризация эхо-сигнала меняется на противоположную (зеркальная компонента), а вследствие многократных отражений и диффузного рассеяния на шероховатых поверхностях — совпадает с излученной (диффузная компонента). Отношение мощности диффузной компоненты эхо-сигнала к зеркальной (*CPR* — Circular Polarization Ratio) является мерой шероховатости, количества камней и состава материалов на Лунной поверхности и в толще реголита. Малые значения *CPR* свидетельствуют о гладких на масштабах длины волны поверхностях, а значения *CPR*, приближающиеся к 1, указывают на поверхности с большим диффузным рассеянием, такие как каменные выбросы молодых ударных кратеров и покрытые трещинами застывшие лавовые потоки (Кэмпбелл, 2012). Таким образом, величина *CPR* позволяет судить о физических характеристиках исследуемой области. Для надежной оценки *CPR* мы проводили измерения шумовой температуры в каналах приемной системы с левой и правой круговыми поляризациями в течение всего сеанса наблюдений. Шумовые температуры обоих каналов во время сопровождения Луны имели близкие значения и в среднем на сеанс составляли 131 К с отклонением не более 5%. Сигналы обеих поляризаций усиливались и когерентно переносились приемной системой в диапазон

промежуточных частот от 1346 до 1354 МГц, затем оцифровывались системой преобразования сигналов (Носов и др., 2021) и сохранялись на сервере со скоростью 32 Мбит/с для каждого канала. Для обеспечения когерентности записываемых данных передающая антенна ТНА-1500 и радиотелескоп РТ-13 были синхронизированы с водородными стандартами времени и частоты, расположенными на каждой из площадок.

Для получения радиолокационных изображений записанный сигнал коррелировался с синтезированным модельным эхо-сигналом. Применяя к результату корреляции быстрое преобразование Фурье (БПФ), мы получали информацию о мощности и доплеровском сдвиге по частоте компонентов эхо-сигнала на соответствующей временной задержке, формируя тем самым радиолокационное изображение. Пространственное разрешение радиолокационного изображения поверхности Луны по задержке  $\Delta r$  определяется длительностью бода  $t$  и углом между лучом зрения и нормалью к поверхности  $\theta$  по формуле  $\Delta r = ct/2\sin\theta$ , где  $c$  – скорость света. Разрешение по доплеровской частоте задается исключительно длиной БПФ. Таким образом, для выбранных параметров модуляции пространственное разрешение радиолокационного изображения в центре облучаемой области составило около 80 м на пиксел по задержке, при  $\theta \approx 69^\circ$ . Соответствующее разрешение по оси доплеровских частот было достигнуто интегрированием эхо-сигнала в течение 250 с. Чтобы избежать размытия радиолокационного изображения при таком длительном времени интегрирования, мы использовали метод фокусировки, позволяющий компенсировать изменение задержки и доплеровского смещения частоты в выбранной точке в соответствии с эфемеридными данными (Стэйси, 1993). Поскольку радиолокационные изображения формируются в специфической системе координат на основе временной задержки компонентов эхо-сигнала и их доплеровского сдвига по частоте относительно сопровождаемой цели, то это затрудняет их анализ и сравнение с изображениями на других длинах волн. Мы преобразовали временную задержку и частоту эхо-сигнала к селенографической широте и долготе, используя линейную интерполяцию по известным узловым значениям, полученным по эфемеридным данным (Павлов и др., 2023). Это позволило более точно сопоставить исследуемые области на радиолокационных и оптических изображениях.

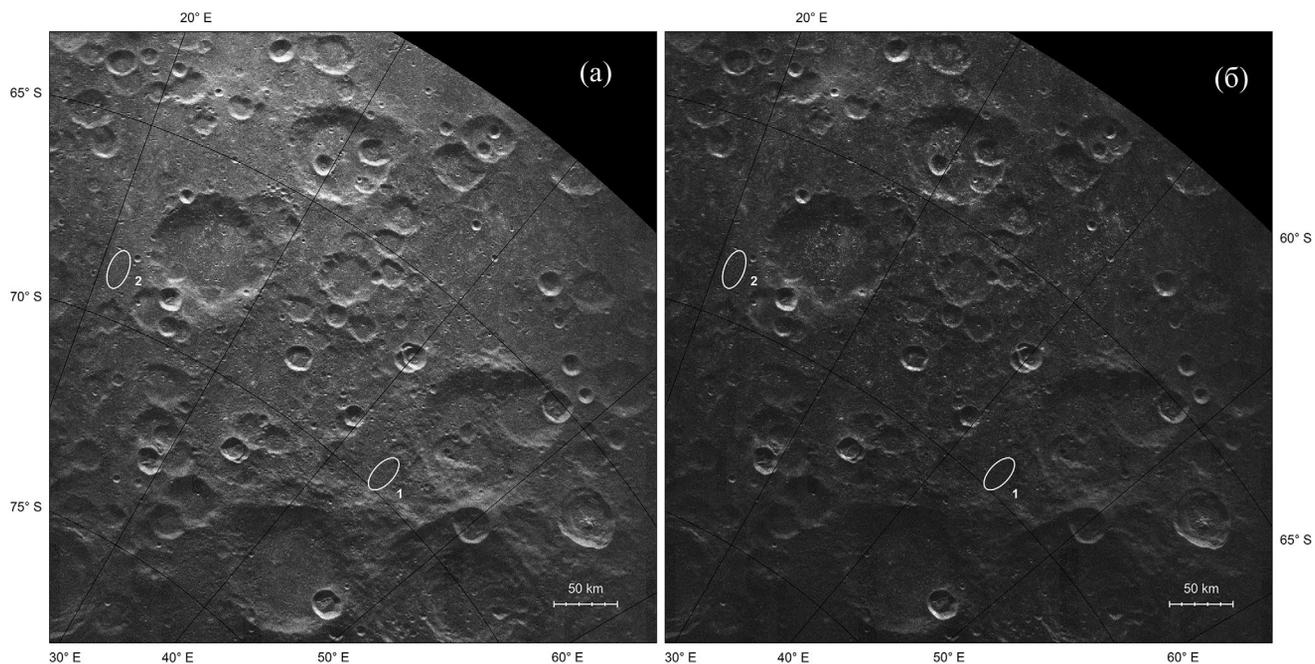
В результате обработки наблюдений мы получили радиолокационные изображения поверхности Луны для зеркальной и диффузной компонент эхо-сигнала (см. рис. 1) соответственно с пространственным разрешением около 80 м на пиксель. Изображения привязаны к селенографической системе координат и представлены

в ортографической проекции с центром в южном полюсе Луны. На изображениях отмечены предполагаемые основной (1) и резервный (2) районы посадки КА Луна-25, которые определены эллипсами размерами  $30 \times 15$  км. Используя полученные значения мощности каждой из компонентов эхо-сигнала, мы также вычислили значения *CPR* для соответствующих селенографических координат радиоизображения.

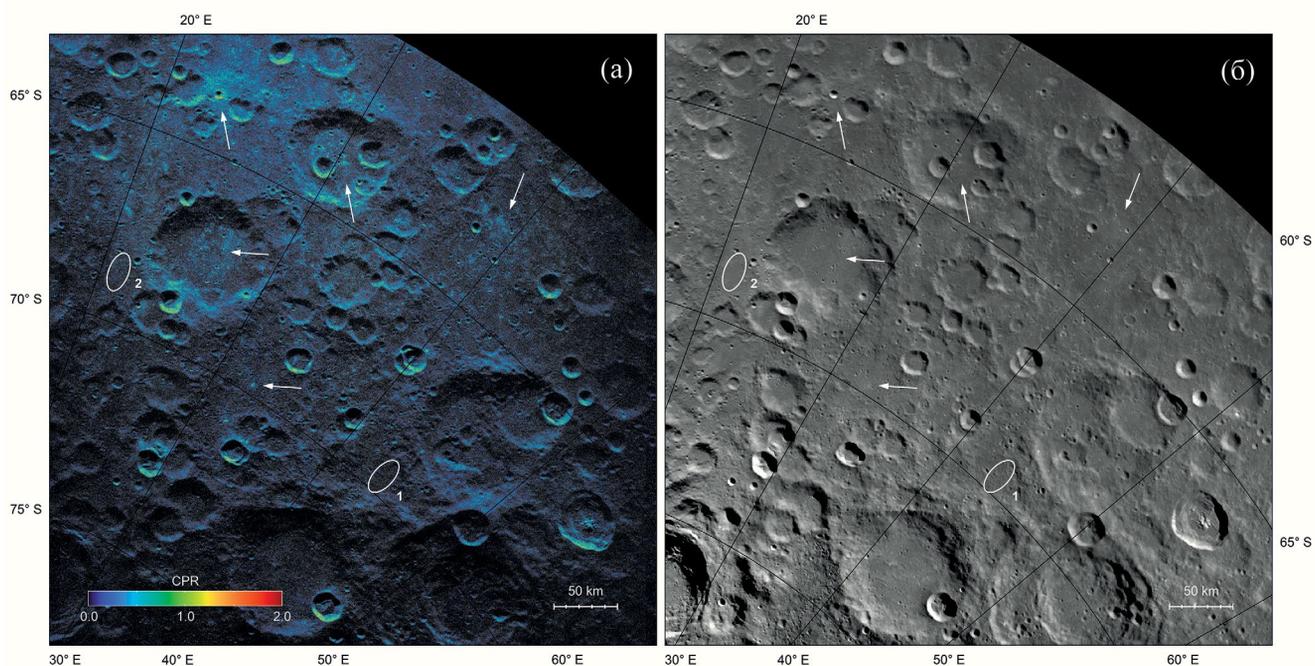
## АНАЛИЗ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Почти вся Луна покрыта слоем реголита, который образовался в результате падения метеороидов и воздействия космического излучения на ее поверхность. Этот слой состоит из скальных обломков и камней разного диаметра, находящихся на поверхности и взвешенных в мелкодисперсной пыли. Новые поля камней образуются в основном при ударах в коренные породы. Со временем крупные камни разрушаются, а слой реголита утолщается, покрывая их осколками. Толщина реголита зависит от возраста поверхности и варьируется от нескольких метров на равнинах молодых лунных морей до десятков метров в более старых горных районах (Маккей и др., 1991; Вилкоккс и др., 2005). Обратное радиолокационное рассеяние в реголите возникает на границах между материалами с разными диэлектрическими свойствами. Сигналы отражаются от обломков и камней на поверхности и под ней, пустот, трещин и подложки коренных пород, размер которых превышает примерно одну десятую длины волны излучения. Глубина проникновения радиолокационных сигналов зависит от тангенса угла потерь и диэлектрической проницаемости реголита, а также от длины волны излучения радара (Карриер и др., 1991). Коротковолновые сигналы X диапазона частот могут проникать в реголит на глубину от 40 см до 4 м, рассеиваясь обратно на структурах сантиметрового масштаба, в то время как более длинноволновые сигналы проникают на десятки метров, достигая коренных пород (Кэмпбелл и др., 1997).

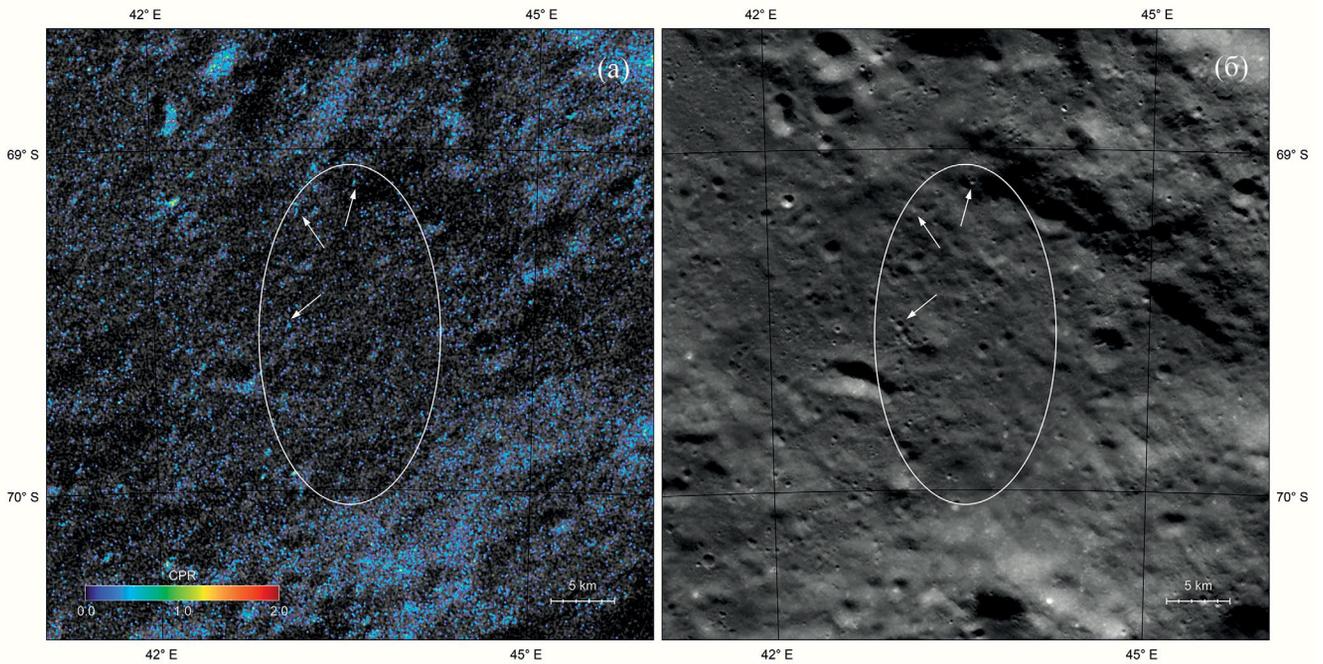
На рис. 1 радиолокационное изображение наминает фотографию в оптическом диапазоне. На нем заметны крупные формы рельефа, а также имеются тени, которые удлиняются к югу по мере увеличения угла падения сигнала  $\theta$ . Изображение зеркальной компоненты эхо-сигнала, в отличие от диффузной, – более яркое, поскольку содержит большую часть отраженной мощности. Однако на изображении диффузной компоненты отчетливо видны отдельные яркие области, которым соответствует многократное переотражение сигнала на неоднородностях, сопоставимых с длиной волны. Карты значений *CPR* для таких областей позволяют оценить количество и распределение камней на поверхности и в приповерхностном слое реголита.



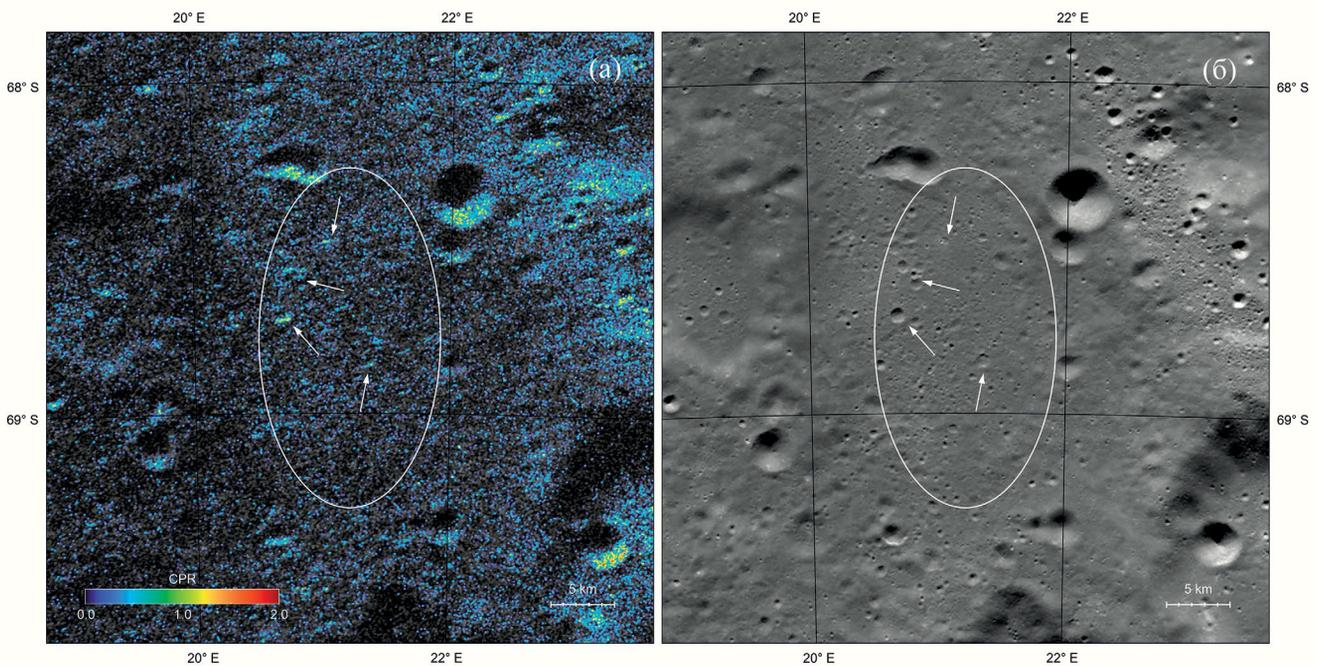
**Рис. 1.** Радиолокационные изображения зеркальной (а) и диффузной (б) компонент эхо-сигнала. Предполагаемые основной (1) и резервный (2) “эллипсы разброса” мест посадки КА Луна-25. Изображения привязаны к селенографической системе координат и представлены в ортографической проекции с центром в южном полюсе Луны.



**Рис. 2.** Радиолокационное изображение зеркальной компоненты эхо-сигнала с наложенными значениями *CPR* (а) и изображение, полученное с помощью оптических камер инструмента LROC (б). Предполагаемые основной (1) и резервный (2) “эллипсы разброса” мест посадки КА Луна-25. Изображения привязаны к селенографической системе координат и представлены в ортографической проекции с центром в южном полюсе Луны.



**Рис. 3.** Радиолокационное изображение зеркальной компоненты эхо-сигнала с наложенными значениями *CPR* (а) и изображение, полученное с помощью оптических камер инструмента LROC (б). Белым цветом обозначен “эллипс разброса” предполагаемого основного района посадки КА Луна-25. Изображения привязаны к селенографической системе координат и представлены в ортографической проекции с центром в южном полюсе Луны.



**Рис. 4.** Радиолокационное изображение зеркальной компоненты эхо-сигнала с наложенными значениями *CPR* (а) и изображение, полученное с помощью оптических камер инструмента LROC (б). Белым цветом обозначен “эллипс разброса” предполагаемого резервного района посадки КА Луна-25. Изображения привязаны к селенографической системе координат и представлены в ортографической проекции с центром в южном полюсе Луны.

Мы наложили значения *CPR* на радиолокационное изображение зеркальной компоненты эхо-сигнала (рис. 2а) и сравнили с изображением, полученным с помощью оптических камер инструмента LROC (Робинсон и др., 2010) (рис. 2б). Оба изображения приведены в селенографической системе координат в ортографической проекции с центром в южном полюсе Луны и в одинаковом масштабе. На рис. 2а значения *CPR* отображаются в диапазоне от 0 до 2, причем нулевым значениям соответствуют области, находящиеся в радиолокационной тени, а для областей с экстремально сильным диффузным рассеянием значения доходят до 1.8. Стрелками отмечены места с относительно высокими значениями *CPR*, некоторые из которых коррелируют с соответствующими местами на оптическом изображении, а другие – нет. Эти различия связаны с тем, что часть камней находится на поверхности реголита и заметна на оптическом изображении, а другая часть присутствует в толще реголита на глубине проникновения радиолокационного сигнала.

Нами была проведена оценка количества и распределения значений *CPR* внутри основного и резервного “эллипсов разброса” предполагаемых мест посадки КА Луна-25. На рис. 3 и 4 представлены радиолокационные карты *CPR* и оптические изображения мест посадки в увеличенном масштабе. Для основного района посадки камни и неровности размером от нескольких сантиметров распределены достаточно равномерно и занимают не менее 7% от общей площади. Отмеченные стрелками максимальные значения *CPR* внутри этой области не превышают 0.65. В северной части резервного района стрелками обозначены отдельные плотные области с высокими значениями *CPR*, достигающими до 1.45. По всей видимости, это связано с наличием выбросов из более крупных молодых кратеров. При этом камни и неровности, соразмерные длине волны излучения, занимают более 15% площади эллипса.

## ВЫВОДЫ

В работе получены новые радиолокационные изображения и поляриметрические данные для основного и резервного районов посадки КА Луна-25 вблизи кратеров Манчини и Богуславский на длине волны 4.2 см с пространственным разрешением около 80 м. Анализ полученных радиолокационных изображений выявил области с высоким радиолокационным рассеянием и *CPR*. Проведена оценка количества и распределения камней и неровностей, соразмерных длине волны излучения, на поверхности и в приповерхностном слое реголита на глубине до 1 м. Показано, что внутри основного “эллипса разброса” камни распределены более равномерно и занимают меньшую площадь по сравнению с резервным эллипсом. Средние

значения *CPR* в пределах резервного эллипса заметно выше, чем в основном, что, очевидно, связано с наличием выбросов камней из более крупных молодых кратеров. При этом часть камней находится на поверхности реголита и заметна на оптическом изображении, а другая часть присутствует в толще реголита на глубине проникновения радиолокационного сигнала. Поверхность, кажущаяся гладкой в видимом диапазоне, может скрывать камни, обломки и пустоты размером более 50 см, находящиеся на небольшой глубине и представляющие серьезную угрозу для спускаемого КА. В результате проведенного анализа радиолокационных данных можно сделать вывод, что поверхность и приповерхностный слой реголита основного района более гладкие, чем у резервного, что делает его предпочтительным для предполагаемой посадки. Таким образом, полученные в результате работы новые радиолокационные изображения и карты *CPR* могут быть использованы при планировании будущих лунных миссий.

Авторы выражают благодарность техническому персоналу Центра космической связи ОКБ МЭИ “Медвежья озёра” и Обсерватории “Светлое” ИПА РАН за помощь в организации и проведении радиолокационных наблюдений Луны.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-22-00254).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилкоккс и др. (B.V. Wilcox, M.S. Robinson, P.C. Thomas, and B.R. Hawke), *Meteorit Planet Sci.* **40**, 695 (2005).
2. Дьячкова М.В., Литвак М.Л., Митрофанов И.Г., Санин А.Б., *Астрон. вестник* **51**, 204 (2017) [M.V. Djachkova, M.L. Litvak, I.G. Mitrofanov, A.V. Sanin, *Sol. Syst. Res.* **51**, 185 (2017)].
3. Дьячкова М.В., Митрофанов И.Г., Санин А.Б., Литвак М.Л., Третьяков В.И. *Астрон. вестник* **55**, 522 (2021) [M.V. Djachkova, I.G. Mitrofanov, A.V. Sanin, M.L. Litvak, V.I. Tret'yakov, *Sol. Syst. Res.* **55**, 509 (2021)].
4. Евстигнеев и др. (A.A. Evstigneev, V.K. Chernov, O. Eu. Evstigneeva, I.A. Ipatova, Yu. Yu. Khvostov, A.P. Lavrov, I.A. Pozdnyakov, Yu.V. Vekshin, et al.), *Trans. of IAA RAS.* **55**, 36 (2020).
5. Жуков А.О., Иванов К.А., Бондарева М.К., Горовой Д.С., *Сиб. аэрокосмич. журн.* **24**, 99 (2023) [A.O. Zhukov, K.A. Ivanov, M.K. Bondareva, D.S. Gorovoy, *Sib. Aerospace J.* **24**, 99 (2023)].
6. Карриер и др. (W.D. Carrier, G.R. Olhoft, and W. Mendell.), *Lunar Sourcebook, A User's Guide to the Moon* (Ed. G.H. Heiken, D.T. Vaniman, B.M. French: Cambridge Univer. Press, 1991), p. 475.

7. Кэмпбелл и др. (B.A. Campbell, B.R. Hawke, and T.W. Thompson), *J. Geophys. Res.* **102**, 19307 (1997).
8. Кэмпбелл и др. (B.A. Campbell, D.B. Campbell, J.L. Margot, R.R. Ghent, M. Nolan, J. Chandler, L.M. Carter, and N.J.S. Stacy), *IEEE Trans.* **45**, 4032 (2007).
9. Кэмпбелл и др. (B.A. Campbell, L.M. Carter, D.B. Campbell, M. Nolan, J. Chandler, R.R. Ghent, B.R. Hawke, R.F. Anderson, and K. Wells), *Icarus* **208**, 565 (2010).
10. Кэмпбелл (B.A. Campbell), *J. Geophys. Res.* **117**, E06008 (2012).
11. Маккей и др. (D.S. McKay, G. Heiken, A. Basu, G. Blanford, S. Simon, R. Reedy, B.M. French, and J. Papike), *Lunar Sourcebook, A User's Guide to the Moon* (Ed. G.H. Heiken, D.T. Vaniman, B.M. French: Cambridge Univer. Press, 1991), p. 285.
12. Маршалов Д.А., Бондаренко Ю.С., Медведев Ю.Д., Вавилов Д.Е., Зотов М.Б., Михайлов А.Г., ПТЭ **4**, 111 (2018) [D.A. Marshalov, Yu.S. Bondarenko, Yu.D. Medvedev, D.E. Vavilov, M.B. Zotov, A.G. Mikhailov, *Instrum. Exp. Tech.* **61**, 577 (2018)].
13. Митрофанов И.Г., Зеленый Л.М., Третьяков В.И., Калашников Д.В., *Астрон. вестник* **55**, 497 (2021) [Mitrofanov I.G., Zelenyi L.M., Tret'yakov V.I., Kalashnikov D.V., *Sol. Syst. Res.* **55**, 485, (2021)].
14. Нозет и др. (S. Nozette, P. Spudis, B. Bussey, R. Jensen, K. Raney, H. Winters, C.L. Lichtenberg, W. Marinelli, et al.), *Space Sci. Rev.* **150**, 285 (2010).
15. Носов и др. (E. Nosov, D. Marshalov, L. Fedotov, and Y. Sheynman), *J. Instrument.* **16**, P05003 (2021).
16. Павлов С.Р., Бондаренко Ю.С., Маршалов Д.А., Труды ИПА РАН **67**, 3 (2023) [S.R. Pavlov, Yu.S. Bondarenko, and D.A. Marshalov, *Trans. of IAA RAS* **67**, 3 (2023)].
17. Паттерсон и др. (G.W. Patterson, A.M. Stickle, F.S. Turner, J.R. Jensen, D.B.J. Bussey, P. Spudis, R.C. Espiritu, R.C. Schulze, et al.), *Icarus* **283**, 2 (2017).
18. Робинсон и др. (M.S. Robinson, S.M. Brylow, M. Tschimmel, D. Humm, S.J. Lawrence, P.C. Thomas, B.W. Denevi, E. Bowman-Cisneros, et al.), *Space Sci. Rev.* **150**, 81 (2010).
19. Стэйси (N.J.S. Stacy), *High-resolution synthetic aperture radar observations of the moon* (Cornell Univ., Ithaca, NY, 1993).
20. Шуйгина и др. (N. Shuygina, D. Ivanov, A. Ipatov, I. Gayazov, D. Marshalov, A. Melnikov, S. Kurdubov, M. Vasilyev, et al.), *Geod. Geodyn.* **10**, 150 (2019).