

Атлас Лунохода-1: геоинформационное картографирование и анализ региона посадки автоматической межпланетной станции «Луна-17» по данным дистанционного зондирования спутника Lunar Reconnaissance Orbiter

**И.П. Карачевцева, А.А. Конопихин, К.Б. Шингарева,
Е.В. Черепанова, Е.Н. Гусакова, М.А. Баскакова**

*Московский государственный университет геодезии и картографии
Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий (КЛИВТ)
121552, Москва, Гороховский переулок, 4, офис 155
E-mail: i_karachevtseva@mexlab.ru*

В 2009 г. стартовала новая миссия для исследования Луны Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO), которая обеспечивает данные дистанционного зондирования высокого разрешения. Данные LRO, полученные в режиме стереосъемки при помощи узкоугольной камеры (LRO NAC), позволяют формировать цифровые модели рельефа (ЦМР) с точностью 1...2 м, что обеспечивает картографирование поверхности с большой степенью детальности. На основе данных LRO выполнено картографирование участка территории в районе посадки автоматической межпланетной станции «Луна-17» и маршрута дистанционно-управляемого лунного самоходного аппарата Луноход-1. На основе интеграции в ГИС разнородных материалов дистанционного зондирования получены различные параметры поверхности Луны, представленные в виде серии тематических карт Атласа Лунохода-1. В результате детального изучения территории предложены названия для малых кратеров по маршруту Лунохода-1. Международный астрономический союз (МАС) 14 июня 2012 г. официально утвердил предложенные наименования и лунная номенклатура пополнилась двенадцатью новыми названиями в районе посадки станции «Луна-17».

Ключевые слова: Луноход-1, ГИС, геоинформационное картографирование Луны, планетная номенклатура.

Новый взгляд на Луноход-1

Обнаружение Лунохода-1 по данным LRO и новые измерения, выполненные с помощью лазерного уголкового отражателя, установленного на борту самоходного аппарата, не только возродили интерес к советской лунной программе, но и обеспечили исходные данные для исследований района посадки автоматической межпланетной станции (АМС) «Луна-17» на основе точной системы координат ME (Murphy et al, 2010). Новейшие данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) Lunar Reconnaissance Orbiter, полученные с высокой плановой и высотной точностью, впервые обеспечили возможность детальных исследований поверхности Луны (Robinson et al., 2010), в том числе на территорию действия Лунохода-1. К сожалению, осталось очень мало исходных материалов Луноходов-1 и -2, которые могли бы обеспечить обработку архивных данных с использованием новых компьютерных технологий. Помимо материалов публикаций (Виноградов и др., 1971; Барсуков и др., 1978), куда включены результаты исследований по программе Лунохода-1, в Государственном архиве РФ имеются отсканированные фотопанорамы, однако описание параметров и условий съемки, которые необходимы для фотограмметрической обработки, утрачены, частично или полностью. В этой связи, картографирование исследуемой территории, выполненное на основе ДДЗ LRO и ГИС-технологий, дает возможность не только нового взгляда на достижения советской космической лунной программы, но и обеспечивает детальное координатно-картографическое описание маршрута Лунохода-1. Результаты геоинформационного картографирования этого региона также обеспечивают возможность новой детальной реконструкции лунной поверхности по стереофотопанорамам, снятым камерами телефотометров Лунохода-1 («налунная» съемка).

Результаты налунной съемки Лунохода-1 и новое ДДЗ LRO NAC

Впервые детальное картографирование исследуемой территории было выполнено на основе данных Лунохода-1, когда по первым результатам создавалась оперативная топографическая схема маршрута (Виноградов и др., 1971). В дальнейшем на основе фотограмметрической обработки стереофотопанорам, полученных с поверхности, были созданы топографические карты крупного масштаба на отдельные небольшие участки (Барсуков и др., 1978). Реконструкция схемы маршрута и топографических планов по современным данным, с использованием ДДЗ миссии Clementine, представлена в работе (Stook, 2007). Однако в этой работе ничего не сообщается о координатной основе проведенной реконструкции карт и схем Лунохода-1.

В настоящий момент для области посадки станции «Луна-17» имеются более 30 изображений LRO NAC с различными параметрами съемки. Результаты съемки с двух соседних орбит, 07350 (изображение M150749234) и 07351 (изображение M150756018), обеспечивающие получение стерео (табл. 1), использованы для формирования ЦМР высокого разрешения (0,5 м/пиксел). Обработка двух указанных выше стереоизображений с созданием ЦМР и с последующим получением на ее основе базовой ортомозаики выполнена в Немецком аэрокосмическом центре (DLR) на основе технологии, описанной в работе (Sholten et al., 2012). Эти информационные продукты (табл. 2, п. 1 и 2), представлены в стереографической равноугольной проекции, координаты центра проекции: долгота –35, широта +38. Поэтому эта же система координат была использована нами при картографировании и анализе данных в ГИС, выполненных в МИИГАиК.

Таблица 1. Перечень изображений LRO NAC, использованных для анализа маршрута Лунохода-1

Год съемки	Название изображения	Высота Солнца, град	Разрешение, м/пиксел
2010	M127159138R/L	46,5/46,4	0,46
2010	M133057617R/L	84,8/84,7	0,52
2011	M150749234L/R	65,3/65,3	0,47
2011	M150756018R/L	66,0/65,9	0,50
2011	M175502049L/R	57,7/57,8	0,33

Помимо стереоизображений, на район маршрута Лунохода-1 площадью около 10 км² для целей исследования отобраны также несколько изображений, имеющие различную освещенность и разрешение (см. табл. 1). Эти данные LRO NAC обработаны нами с формированием отдельных ортоизображений на основе программного обеспечения ISIS (<http://isis.astrogeology.usgs.gov/>) и с использованием ЦМР с разрешением 30 м/пиксел, которая получена по результатам обработки лазерного альтиметра LOLA, установленного на борту LRO (<http://ode.rsl.wustl.edu/moon/indextools.aspx>). Полный перечень использованных и подготовленных информационных продуктов представлен в табл. 2.

Таблица 2. Перечень данных, использованных для анализа области посадки АМС «Луна-17»

№ п/п	Тип исходных данных	Тип обработки	Продукт	Разрешение, м/пиксел. Масштаб
1	Стереосъемка LRO NAC	Стереофотограмметрическая обработка изображений (DLR) M150749234/ M150756018	Детальная ЦМР, высотная точность 1 м	0,5
2	LRO NAC	Орторектификация с использованием ЦМР 0,5 м/пиксел (DLR)	Ортомозаика (M150749234/ M150756018)	0,5
3	LRO NAC	Орторектификация с использованием ЦМР LOLA 30 м/пиксел (МИИГАиК)	Отдельные ортоизображения (см. табл. 1)	0,43...0,74

№ п/п	Тип исходных данных	Тип обработки	Продукт	Разрешение, м/пиксел. Масштаб
3а	LRO NAC	Орторектификация использованием ЦМР LOLA 30 м/пиксел (МИИГАиК)	M175502049L	0,33
4	Съемка рельефа лазерным альтиметром LOLA	Интерполяция треков LOLA (LRO Team)	ЦМР (LDEM_1024)	30
5	Стереосъемка телефотометрами с борта Лунохода-1	Стереофотограмметрическая обработка (Виноградов и др., 1971)	Топографические планы (Барсуков и др., 1978)	1:150–1:250

Таким образом, для исследования области посадки АМС «Луна-17» использован широкий перечень данных, в том числе топографические карты, полученные в результате стереосъемок, выполненных на лунной поверхности телефотометрами Лунохода-1 (Барсуков и др., 1978).

Анализ космических изображений для дешифрирования маршрута Лунохода-1

С использованием представленного выше информационного обеспечения, выполнен анализ колеи по маршруту Лунохода-1. Базовая ортомозаика (см. табл. 2, п. 1) с пространственным разрешением 0,5 м обеспечила основу для визуального дешифрирования колеи Лунохода-1 на большей части изображения. Предварительный анализ яркостных и текстурных свойств базовой ортомозаики с показал, что колея Лунохода-1 в целом хорошо различима, однако, на отдельных участках вследствие невысокого (8-битного) радиояркостного разрешения изображения и особенностей его освещенности, обнаружение колеи затруднено, что потребовало дополнительной обработки и привлечения других материалов.

На начальном этапе работ для улучшения визуальных характеристик встроенными средствами ArcGIS повышена контрастность базовой ортомозаики, затем хорошо различимые участки колеи лунохода были оцифрованы. При оцифровке выбиралось среднее положение между двумя колеями Лунохода-1 (рис. 1).

Участки колеи, плохо различимые вследствие хаотичных передвижений Лунохода-1 по поверхности (около 5 % от всей длины маршрута), или нераспознанные следы из-за условий освещенности базовой ортомозаики (менее 1 %), далее идентифицировались с помощью привлечения дополнительных данных. Для отдельных участков определение положения следов Лунохода-1 выполнено с использованием крупномасштабных топографических планов (Барсуков и др., 1978), которые были геопривязаны к базовой ортомозаике в ГИС.

Далее уточнение положения колеи Лунохода-1 проводилось с использованием космического изображения (см. табл. 2, п. 3а), полученного с низкой орбиты, на которой аппарат LRO находился несколько месяцев в конце 2011 г. Новейшее изображение имеет пространственное разрешение 0,33 м/пиксел и освещенность, которая обеспечивает видимость колеи на всем протяжении маршрута Лунохода-1.

ГИС-измерения и анализ поверхности в районе передвижения Лунохода-1

Оцифровка в ГИС колеи Лунохода-1 позволило определить координаты различных позиций аппарата на маршруте – точек съемки стереопанорам телефотометрами (табл. 3), а также стоянки аппарата во время лунных «ночевок» (рис. 2).

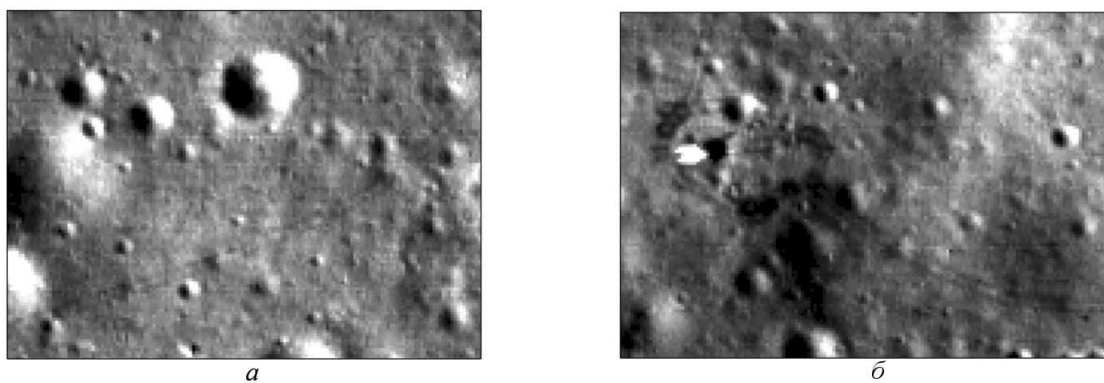
Таблица 3. Координаты точек по маршруту Лунохода-1, полученные в ГИС

Дата	Наименование	Долгота, град	Широта, град
19.11.70/1 лунный день	План № 1, точка 1	-34,99878	38,23675
20.11.70/1 лунный день	План № 1, точка 2	-34,99881	38,23662
20.11.70/1 лунный день	План № 2, точка 1	-34,99809	38,23497
21.11.70/1 лунный день	План № 2, точка 2	-34,99791	38,23502
13.12.70/2 лунный день	План № 3	-34,99381	38,21925
20.12.70/2 лунный день	План № 4	-34,98333	38,20777
07.02.71/4 лунный день	План № 5	-35,00155	38,24663
08.02.71/4 лунный день	План № 6	-35,00299	38,25631
14.05.71/7 лунный день	План № 7, точка 1	-35,01508	38,27967
14.05.71/7 лунный день	План № 7, точка 2	-35,01507	38,27955
23.11.70–08.12.70	Стоянка, 1 лунная ночь	-34,99757	38,23393
23.12.70–07.01.71	Стоянка, 2 лунная ночь	-34,98082	38,19845
21.01.71–04.02.71	Стоянка, 3 лунная ночь	-35,00159	38,23742
22.02.71–07.03.71	Стоянка, 4 лунная ночь	-35,00720	38,27192
22.03.71–05.04.71	Стоянка, 5 лунная ночь	-35,01416	38,26539
21.04.71–05.05.71	Стоянка, 6 лунная ночь	-35,01038	38,27774
20.05.71–03.06.71	Стоянка, 7 лунная ночь	-35,01446	38,28150
19.06.71–02.07.71	Стоянка, 8 лунная ночь	-35,01168	38,31882
18.07.71–01.08.71	Стоянка, 9 лунная ночь	-35,00860	38,31716
17.08.71–30.08.71	Стоянка, 10 лунная ночь	-35,00789	38,31513

Длина пути, измеренная по данным с лунной поверхности с помощью девятого мерного колеса (Барсуков и др., 1978), составляет 10,54 км (табл. 4). Вероятно, разница с измерениями длины в ГИС связана с невозможностью учесть, по космическим изображениям, мелкие подвижки Лунохода-1 вперед-назад.

Таблица 4. Сравнение расстояний по маршруту Лунохода-1

Дата	Наименование / направление движения	Расстояние, м [Съемка]	Расстояние, м [ГИС]
17.11.70	1-й лунный день / место посадки АМС «Луна-17»		
17.11.70–22.11.70	1-й лунный день / на юго-восток	195	232
09.12.70–22.12.70	2-й лунный день / на юго-восток	1521	1392
08.01.71–20.01.71	3-й лунный день / на юго-восток, затем северо-запад с возвратом (18.01) к месту посадки станции «Луна-17»	1870	1897
06.02.71–21.02.71	4-й лунный день / на север, исследование кратера диаметром 540 м	1553	1531
08.03.71–21.03.71	5-й лунный день / на север, исследование кратера диаметром 540 м	2004	1936
06.04.71–20.04.71	6-й лунный день / на север, исследование кратеров диаметром 540 и 240 м	1022	715
06.05.71–19.05.71	7-й лунный день / исследование кратера диаметром 240 м, движение на северо-запад, исследование небольшого кратера	192	269
04.06.71–18.06.71	8-й лунный день / сложный рельеф в межкратерной зоне	1540	1508
03.07.71–17.07.71	9-й лунный день / на северо-запад, затем северо-восток	200	197
02.08.71–16.08.71	10-й лунный день / на север, исследование кратера диаметром 200 м	215	154
31.08.71–19.09.71	11-й лунный день / исследование кратера диаметром 200 м	88	100
29.09.71	11-й лунный день / конечная точка маршрута Лунохода-1	Σ 10540	Σ 9930



а

б

Рис. 1. Фрагменты космического изображения LRO NAC (M150749234), использованного для дешифрирования следов Лунохода-1, ширина колеи — 1,8 м: а — колея Лунохода-1 на одном из прямолинейных участков; б — колея Лунохода-1 при передвижениях в районе посадки АМС «Луна-17»

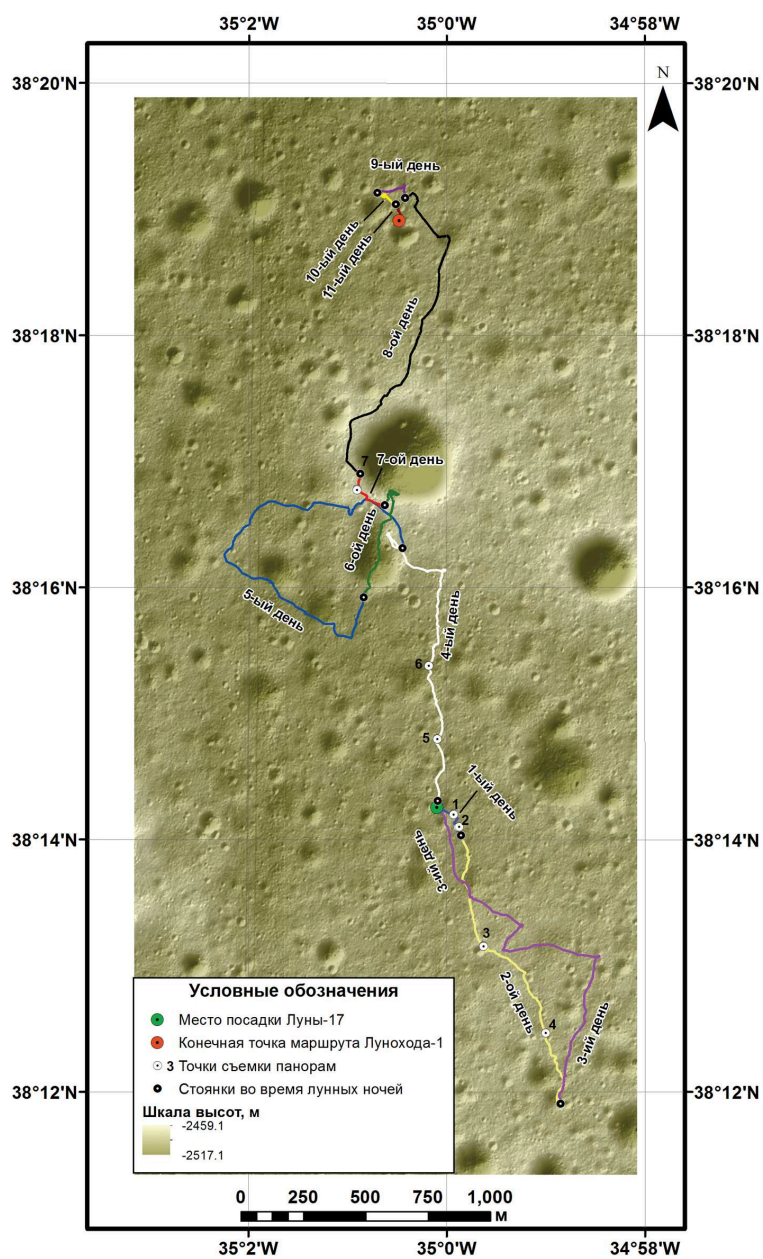


Рис. 2. Карта маршрута Лунохода-1. Исходная основа: базовая ортомозаика и ЦМР

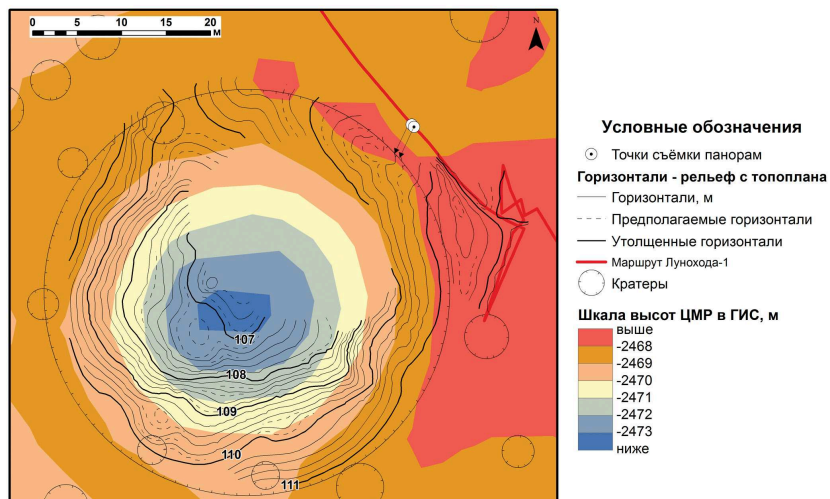


Рис. 3. Сравнение измерений кратеров: карта с совмещенными высотными данными с плана № 3 и ЦМР ГИС

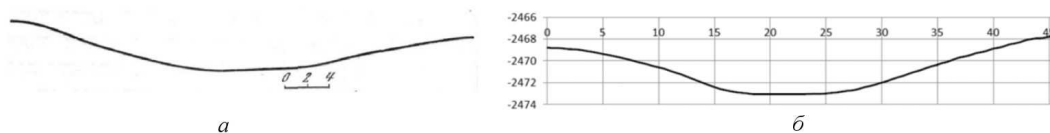


Рис. 4. Сравнение измерений кратеров: *а* — профиль кратера с плана № 3; *б* — профиль кратера по ЦМР ГИС

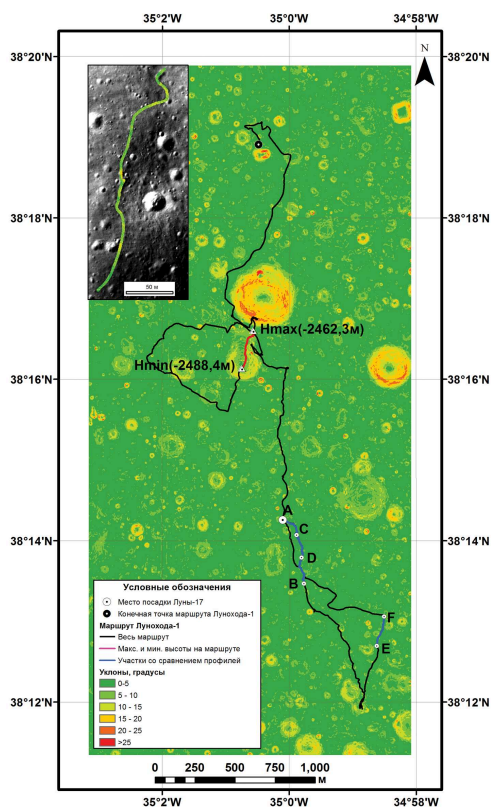


Рис. 5. Карта уклонов. На врезке показаны уклоны вдоль участка пути с самым большим перепадом высот

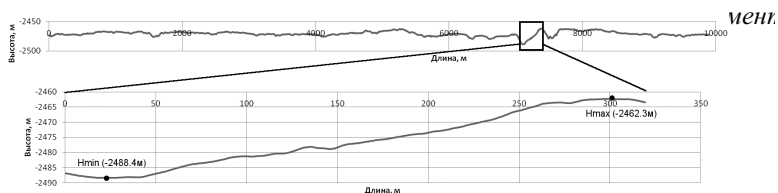


Рис. 6. Вертикальный профиль по маршруту Лунохода-1. С увеличением показан участок с максимальным перепадом высот (см. также врезку на рис. 5)

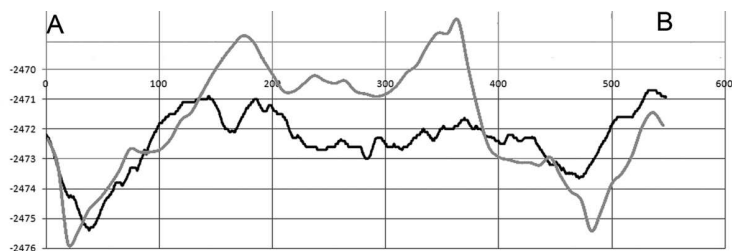


Рис. 8. Вертикальный профиль на участок АВ южного маршрута Лунохода-1, показанного на карте уклонов. Черным цветом показаны ГИС-измерения, серым — данные Лунохода-1

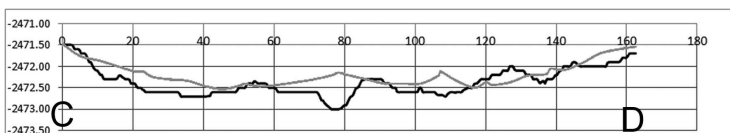


Рис. 9. Вертикальный профиль на участок CD южного маршрута Лунохода-1, показанного на карте уклонов. Черным цветом показаны ГИС-измерения, серым — данные Лунохода-1

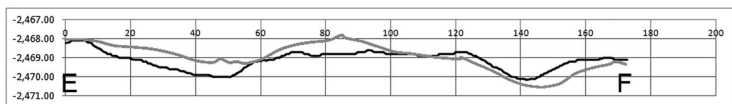


Рис. 10. Вертикальный профиль на участок EF южного маршрута Лунохода-1, показанного на карте уклонов. Черным цветом показаны ГИС-измерения, серым — данные Лунохода-1

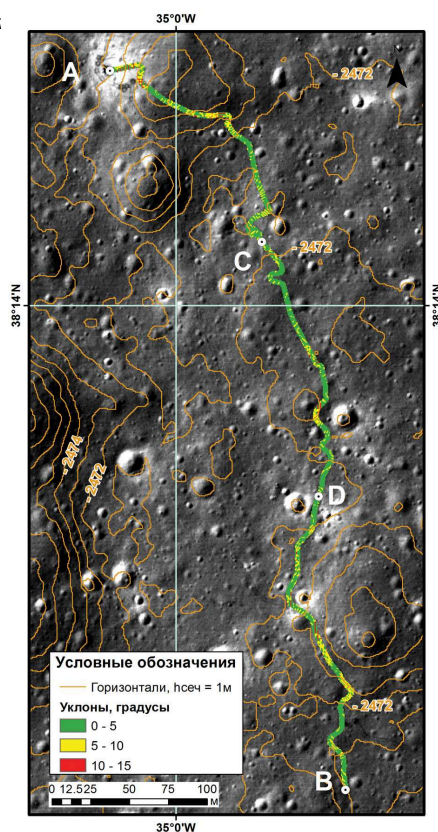


Рис. 7. Уклоны на фрагмент южного участка маршрута Лунохода-1

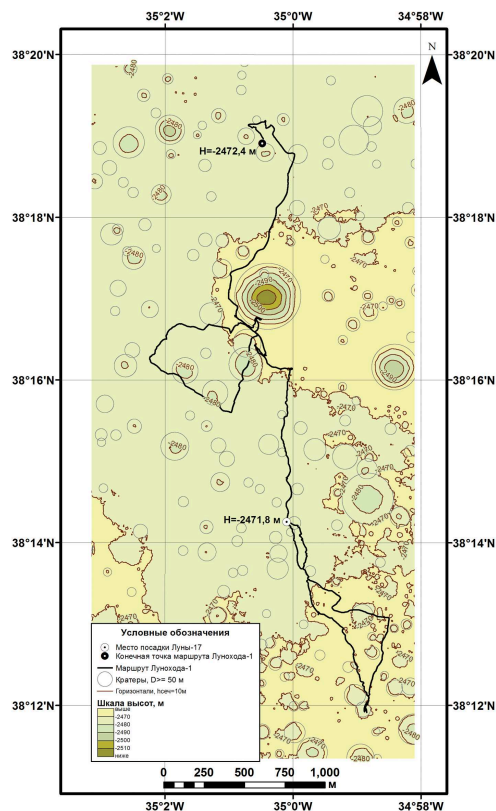


Рис. 11. Гипсометрическая карта на территорию маршрута Лунохода-1

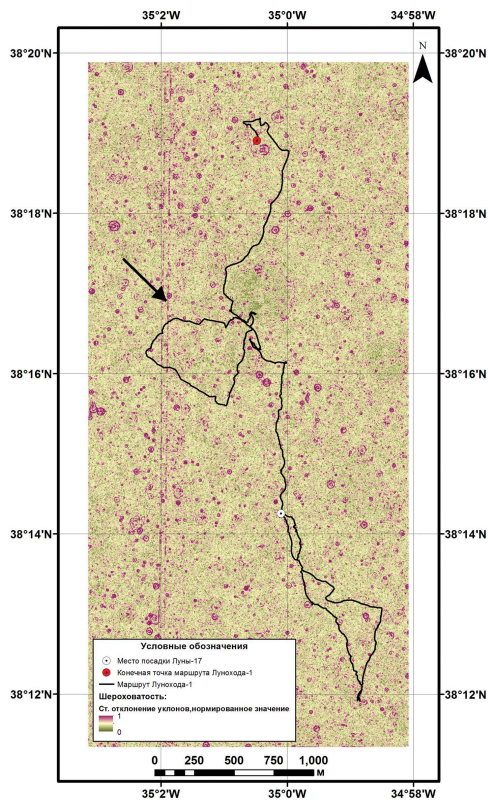


Рис. 12. Карта шероховатости поверхности, полученная из расчета стандартного распределения уклонов

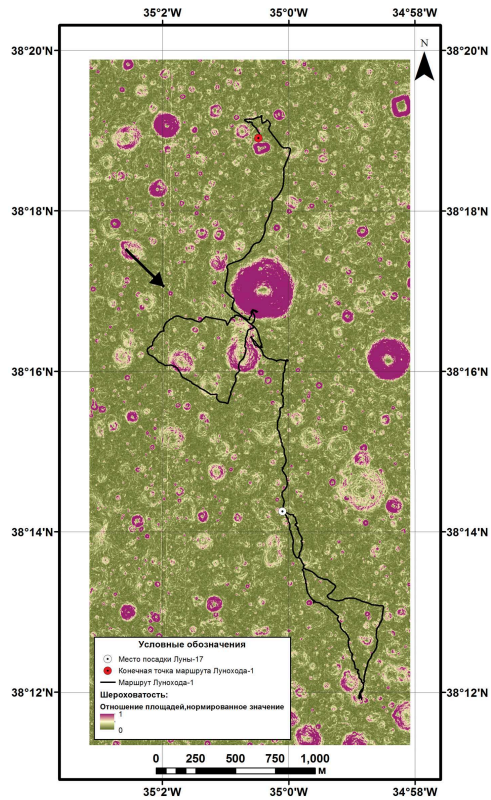


Рис. 13. Карта шероховатости, полученная методом расчета отношения площадей (отличие площади реальной топографической поверхности от площади плоской поверхности)

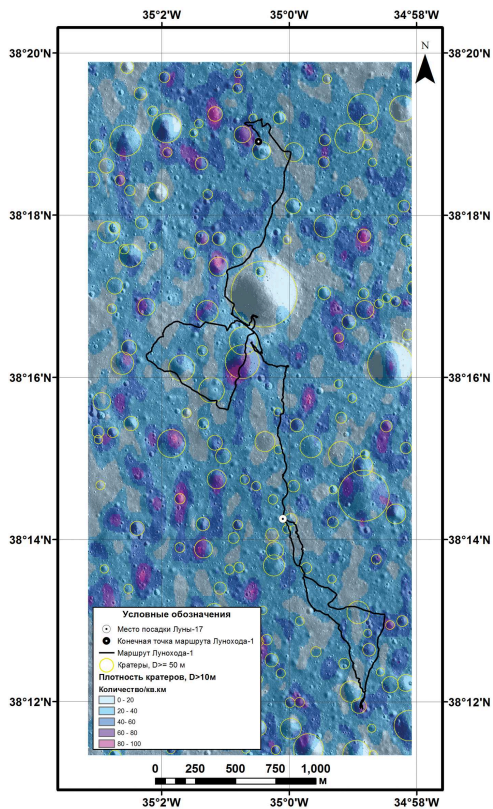


Рис. 14. Карта пространственной плотности кратеров на территорию маршрута Лунохода-1

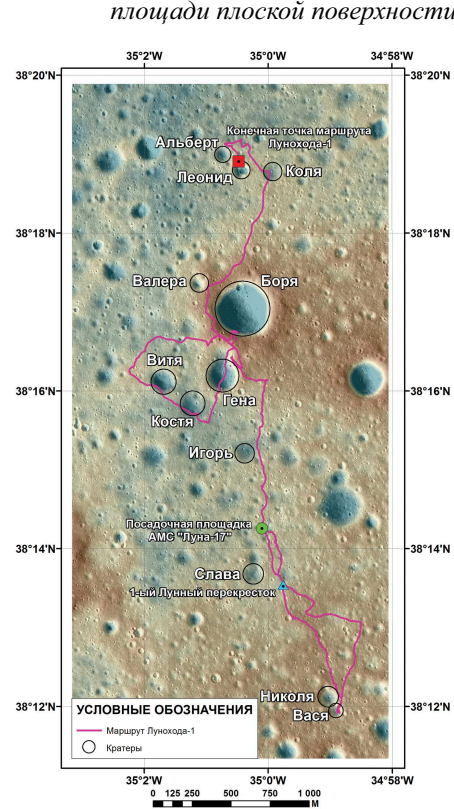


Рис. 15. Карта с новыми названиями малых лунных кратеров, утвержденными МАС

Результаты сравнения показывают, что в среднем, если исключить измерения коротких расстояний, которые дают очень большой разброс значений, расхождение в измерениях составляет около 6 %. При этом следует учесть, что по оценкам, выполненным по окончании работы Лунохода-1 (Барсуков и др., 1978), измерения мерным колесом характеризуются точностью порядка 7...10 %, что соответствует нашим расхождениям в измерениях пути.

Помимо сравнения расстояний, также выполнено сопоставление измерений параметров кратеров, полученных в ГИС, с данными Лунохода-1, для чего использовались топографические планы (Барсуков и др., 1978), масштаб которых составляет 1:150–1:250. По результатам анализа возможностей применения космической съемки для создания и обновления карт, считается, что разрешение данных 0,5...2,5 м/пиксел позволяет обеспечить картографирование в масштабах 1:2000/1:10 000 (Ерёмченко, Гречищев, 2005). Поэтому, несмотря на значительную разницу в детальности картографирования, при отсутствии других данных, мы решили сопоставить результаты «налунной» съемки с Лунохода-1 и космической съемки LRO. При этом, несмотря на то, что на современных космических изображениях хорошо различимы кратеры диаметром 1 м, сравнение параметров проводилось для кратеров, размеры которых превышают 10 м, поскольку только для этих объектов можно надежно проводить измерения с использованием ЦМР, высотное разрешение которой составляет 1 м. В целом, расхождение между измерениями кратеров ($D > 10$ м) по данным Лунохода-1 и измерениями в ГИС составляет около 10 % (рис. 3, 4). Для рис. 3а использовано изображение из публикаций отчетных материалов по Луноходу-1 (Барсуков и др., 1978).

Для анализа крутизны уклонов в ГИС с использованием ЦМР построена карта уклонов на всю исследуемой территории (рис. 5) и на отдельные участки по маршруту движения Лунохода-1 (см. рис. 5, врезка; рис. 7). Также получены высотные профили: на весь маршрут (рис. 6) и на его отдельные участки (рис. 8–10).

В целом, район движения Лунохода-1 — это плоский «морской» участок в районе Моря Дождей (Mare Imbrium), который характеризуются невысокими превышениями и малыми уклонами. В пределах всей территории исследования максимальный перепад высот составляет 58 м (см. гипсометрическую карту, рис. 11), а уклоны в основном не превышают 7° (85 % от всех уклонов); уклоны от 7 до 15° встречаются редко (13 %), участки с крутыми уклонами (от 15 до 30° на склонах крупных кратеров) еще реже (2 %).

Самый большой перепад высот (26,1 м) выявлен на участке маршрута, который был пройден в период 5-го лунного дня (см. рис. 5 и 6). Как следует из описания водителя (Довгань, <http://kik-sssr.narod.ru/Dovgan--Odiseia-2.htm>), аппарат, спустившись по склону 200-м кратера с юга и проехав по его дну, затем начал подъем по северному склону, пройдя кратер от бровки до бровки (по данным ЦМР, глубина кратера 20 м, диаметр 210 м, что совпадает с данными из описаний). Затем луноход поднялся по южному склону самого большого кратера ($D = 450$ м). Вал этого кратера является господствующей высотой данного региона (см. рис. 2). Длина этого отрезка пути, измеренная в ГИС, составляет 283 м (300 м по данным Лунохода-1), что при перепаде высот 26 м, дает уклон не более 5° , хотя из описания данных телеметрии Лунохода-1 следует, что крен и дифферент при движении на этом участке достигали 25... 30° .

На участок длиной около 600 м (549 м по измерениям в ГИС), когда аппарат начал движение на юг (см. рис. 5, линия АВ) имеются графики измерений крена и дифферента Лунохода-1, полученные по данным телеметрии в первый и второй лунные дни (Барсуков и др., 1978). Мы надеемся, что измерения уклонов в ГИС (на базе 1 м), полученные для этого же участка маршрута (см. рис. 7, АВ), а также высотная информация из вертикальных профилей (см. рис. 8) обеспечат возможность проведения более детального топографического анализа и сопоставления данных Лунохода-1 с современными данными.

Вертикальные профили на другие участки южного маршрута, которые также отображены на карте уклонов (см. рис. 5), показаны на рис. 9, 10. Сопоставление профилей выполнено приблизительно, по данным графиков, которые представлены в публикации (Барсуков и др., 1978).

Тематическое картографирование в ГИС и создание Атласа Лунохода-1

Для характеристики поверхности исследуемой территории в ГИС на основе исходной ортомозаики и ЦМР создана база данных, в которой хранятся координаты более 45 000 объектов на исследуемую территорию и их параметры (диаметр, глубина, площадь, относительная глубина). Для оценки поверхности с использованием ЦМР получены различные тематические карты: гипсометрическая карта, с изолиниями равных высот (см. рис. 11); карты шероховатости (рис. 12, 13), созданные на основе различных методов.

Шероховатость топографической поверхности – параметр оценки вариаций высот, для которого нет универсального метода определения, поскольку в зависимости от целей и объекта исследований применяются различные способы расчета (Grohmann et al., 2010). Часто используются такие как нормальное распределение уклонов (standart deviation of slope) и нормальное распределение высот (standart deviation of elevation). Шероховатость может быть использована, в том числе и для выявления ошибок или артефактов в ЦМР, что и было обнаружено по результатам расчетов, выполненных несколькими методами (см. рис. 12, 13). Шероховатость, рассчитанная как отношение площадей (Area ratio), показывает меру отличия площади реальной топографической поверхности от плоскости. Этот метод является немасштабным, поскольку обеспечивает устойчивые результаты независимо от детальности данных, что позволяет корректно его использовать для оценки шероховатости поверхности даже в случае отсутствия ЦМР высокого разрешения.

Как следует из анализа карты пространственной плотности кратеров (рис. 14), в основном Луноход-1 двигался по относительно безопасному пути, в межкратерном пространстве, за исключением специальных случаев, вызванных исследовательским интересом, например, движение на 5-й лунный день на сложном маршруте по валу самого большого кратера в регионе, описанное выше.

Созданные по результатам исследований в ГИС тематические карты позволяют сформировать электронный Атлас Лунохода-1, в том числе с классификацией кратеров по размерам и относительной глубине, что обеспечивает проведение детального геоморфологического анализа территории (Basilevsky et al., 2012).

К сожалению, несмотря на хорошую изученность и наличие более сотни кратеров с размерами от 100 до 500 м, на данной территории нет объектов, имеющих названия. Такая же ситуация и в других районах, связанных с советской Лунной программой, включая места посадок станций «Луна-16 и -18», «Луна 20-21» и «Луна 23-24». Между тем, даже более мелкие объекты в районах высадки американских Аполлонов имеют наименования и включены в лунный электронный газеттир [<http://planetarynames.wr.usgs.gov/Page/MOON/target>]. Поэтому для наименования некоторых кратеров в регионе посадки АМС «Луна-17» (рис. 15) предложены русские мужские имена. Мы надеемся, что это будет, хотя бы частично, являться данью уважения к трудам замечательных людей, сделавших возможным успешное выполнение советской Лунной программы. Мы считаем важным напомнить об этом в связи с ознаменованием прошедшего в 2011 г. сорокалетия окончания программы Лунохода-1, а также грядущего 40-летнего юбилея начала программы Лунохода-2 (январь 2013 г.). Перечень предложенных названий малых кратеров в районе посадки Луны-17 утвержден МАС 15 июня 2012 г. [<http://astrogeology.usgs.gov/HofTopics/index.php?archives/450-New-Names-Approved-for-Twelve-Small-Lunar-Craters.html>; <http://lpod.wikispaces.com/June+16%2C+2012>]. Таким образом, планетная номенклатура пополнена двенадцатью новыми лунными названиями.

Заключение

Выполненные исследования с использованием современных ДДЗ Луны и ГИС-технологий впервые позволили выполнить оценку территории действия Лунохода-1 с высокой плановой и высотной точностью. Это обеспечивает базовую основу для дальнейшей работы по реконструкции и моделированию лунных панорам с использованием современных методов цифровой фотограмметрии. Также в результате детального геоморфологического анализа территории получены параметры объектов лунной поверхности вдоль маршрута Лунохода-1. Сравнение результатов геоинформационного картографирования с картами и схемами, полученными более сорока лет назад, свидетельствует о высоком качестве работ, выполненных в рамках советских Лунных миссий. Поэтому при формировании Атласа Лунохода-1, с целью увековечения этих выдающихся результатов, было предложено использовать русские мужские имена для наименования некоторых малых кратеров в районе посадки АМС «Луна-17». Перечень предложенных названий официально утвержден Международным астрономическим союзом, и на карте Луны появились 12 новых имен.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую признательность Вячеславу Георгиевичу Довганю, водителю второго экипажа Луноходов, и Александру Тихоновичу Базилевскому, члену научной группы программ Луноходов, за ценные сведения о деталях советской Лунной программы и активное участие в подготовке предложений по наименованиям объектов в районе посадки АМС «Луна-17».

Работа выполнена при поддержке правительства Российской Федерации (Мегагрант «Геодезия, картография и изучение планет и спутников», договор № 11.G34.31.0021).

Литература

1. Барсуков В.Л. и др. Передвижная лаборатория на Луне Луноход-1. Т. 2 / Под ред. Барсукова В.Л. М.: Наука, 1978.
2. Виноградов А.П. и др. Передвижная лаборатория на Луне Луноход-1. Т. 1 / Под ред. Виноградова А.П. М.: Наука, 1971.
3. Ерёмченко Е., Гречищев А. Новый подход к созданию ГИС // ArcReview. 2005. № 2(33).
4. Basilevsky A.T., Abdrakhimov A.M., Ivanov M.A., Zabalueva E.V., Karachevtseva I.P., Shingareva K.B., Gusakova E.N., Oberst J., Waehlich M., Robinson M. Identification and measurements of small impact craters in the Lunokhod 1 study area, Mare Imbrium // Proc. 43rd Lunar and Planetary Science Conference. 2012. # 1481.
5. Grohmann C.H., Smith M.J., Riccomini C. Multiscale Analysis of topographic Surface Roughness in the Midland Valley, Scotland // Geosciences and Remote Sensing. IEEE Trans. 2010. V. PP. N. 99. P. 1–14.
6. Murphy T.W., Adelberger E.G., Battat J.B.R., Hoyle C.D., Johnson N.H., McMillan R.J., Michelsen E.L., Stubbs C.W., Swanson H.E. Laser ranging to the lost Lunokhod 1 reflector // Icarus. 2010. V. 211. Iss. 2. P. 1103–1108.
7. Robinson M.S., Eliason E.M., Hiesinger H., Jolliff B.L., McEwen A.S., Malin M.C., Ravine M.A., Thomas P.C., Turtle E.P. Ernest Bowman-Cisneros. Lunar Reconnaissance Orbiter Camera: First results // Proc. 41st Lunar and Planetary Science Conference. 2010. # 1874.
8. Scholten F., Oberst J., Matz K.-D., Roatsch T., Waehlich M., Speyerer E.J., Robinson M.S. GLD100 — the near-global lunar 100 meter raster DTM from LROC WAC stereo image data // J. Geophysical Research. 2012. Planets, (21 Feb 2012 accepted).
9. Stooke P.J. The International Atlas of Lunar Exploration. Cambridge University Press, 2007.

Atlas of the Lunokhod-1: GIS-mapping of the Luna-17 landing site area using Lunar Reconnaissance Orbiter data

I.P. Karachevtseva, A.A. Konopikhin, K.B. Shingareva, E.V. Cherepanova,
E.N. Guskova, M.A. Baskakova

Moscow state University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)
MIIGAiK Extraterrestrial laboratory (MExLab)
121552, Moscow, Gorokhovskiy pereulok, 4, office 155
E-mail: i_karachevtseva@mexlab.ru

In 2009, has started a new mission Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO), which provides of high resolution remote sensing data. Data LRO, received by stereo narrow angle camera (LRO NAC), allow generating digital elevation models (DEM) with an accuracy of 1...2 m, which provides a mapping of the Moon surface with a high degree of details. Using this data mapping of the Lunokhod-1 area has been done. Integration in GIS different types of results of image processing, with various parameters of the study area, are presented in the form of a series of thematic maps of Atlas of Lunokhod-1. As a result of a detailed study of the territory were proposed Russian names for the small craters on the traverse of Lunokhod 1. The International Astronomical Union (IAU), June 14, 2012 officially approved the proposed name and Lunar nomenclature now has 12 new names in the landing site of Luna-17.

Keywords: Lunokhod 1, GIS, Lunar mapping, planetary nomenclature.