УДК 528.94:523.34

ИССЛЕДОВАНИЕ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛУНЫ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ И КОРАБЛЯМИ

© Родионова Ж.Ф.[1], Шевченко В.В.[1], Гришакина Е.А.[2], Слюта Е.Н.[2], 2022

[1]Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга МГУ (ГАИШ МГУ)
Университетский пр-т, 13, г. Москва, Российская Федерация, 119234,
e-mail: director@sai.msu.ru

[2]Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН (ГЕОХИ РАН)
Ул. Косыгина, 19, г. Москва, Российская Федерация, 119991,
e-mail: director@geokhi.ru

Наши знания о лунной топографии значительно улучшились за последние два десятилетия благодаря лазерной альтиметрии и изображениям, полученным с орбитальных космических аппаратов. Рельеф лунной поверхности подробно отображён на Обзорной карте Луны в масштабе 1:13 000 000. Карта составлена на основе цифровой модели рельефа, построенной по данным лазерного высотомера американского космического аппарата Lunar Reconnaissance Orbiter с разрешением 64 пикселя на градус (0,5 км на пиксель). В дополнение к рельефу, отображённому методом светотеневой отмывки, на карте приведены названия крупных образований Луны на латинском языке, принятом Международным астрономическим союзом, и на русском. Условными знаками на карте обозначены места посадок всех космических аппаратов и пилотируемых кораблей. В статье описаны основные результаты исследований лунной поверхности, выполненных по данным орбитальных и спускаемых аппаратов и кораблей.

Ключевые слова: *Луна, космические аппараты, места посадок, карты, цифровая модель рельефа.*

EDN: XZSMLH

EXPLORATION AND MAPPING OF THE MOON USING SPACECRAFT AND SPACE VEHICLES

Rodionova Zh.F.[1], Shevchenko V.V.[1], Grishakina E.A.[2], Slyuta E.N.[2]

[1]Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University (SAI MSU)
13 Universitetsky prospect, Moscow, 119234, Russian Federation,
e-mail: director@sai.msu.ru

[2]Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS (GEOKHI RAS)
19 Kosygin st., Moscow, 119991, Russian Federation,
e-mail: director@geokhi.ru

Our knowledge of lunar topography has significantly improved over the last two decades owing to laser altimetry and images from orbiting spacecraft. Lunar terrain is detailed in the Survey Map of the Moon, which has a scale of 1:13 000 000. The map is based on the digital terrain model built using the data from the laser altimeter installed on the US spacecraft Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) with

the resolution of 64 pixels per degree (0.5 km per pixel). In addition to the terrain relief shaded using the wash-drawing technique, the map provides Latin names of major lunar terrain features adopted by the International Astronomical Union (IAU), and their names in Russian. There are symbols on the map, which indicate the landing sites of all the spacecraft and manned space vehicles. The paper describes the major results of lunar surface studies conducted on the basis of data from orbital spacecraft and lunar landers.

Key words: *the Moon, spacecraft, landing sites, maps, digital terrain model.*

РОДИОНОВА Ж.Ф.

ШЕВЧЕНКО В.В.

ГРИШАКИНА Е.А.

СЛЮТА Е.Н.

РОДИОНОВА Жанна Фёдоровна — кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник отдела исследований Луны и планет ГАИШ МГУ,
e-mail: marss8@mail.ru
RODIONOVA Zhanna Fedorovna — Candidate of Science (Physics and Mathematics),
Senior Research Scientist with the Department of Lunar and Planetary Studies at SAI MSU,
e-mail: marss8@mail.ru

ШЕВЧЕНКО Владислав Владимирович — доктор физико-математических наук,
профессор, заведующий отделом исследований Луны и планет ГАИШ МГУ,
e-mail: vladislav_shevch@mail.ru
SHEVCHENKO Vladislav Vladimirovich — Doctor of Science (Physics and Mathematics),
Professor, Head of the Department of Lunar and Planetary Studies at SAI MSU,
e-mail: vladislav_shevch@mail.ru

ГРИШАКИНА Екатерина Александровна — научный сотрудник лаборатории
геохимии Луны и планет ГЕОХИ РАН,
e-mail: grishakina@geokhi.ru
GRISHAKINA Ekaterina Aleksandrovna — Research Scientist with the Laboratory of Lunar
and Planetary Geochemistry at GEOKHI RAS,
e-mail: grishakina@geokhi.ru

СЛЮТА Евгений Николаевич — кандидат геолого-минералогических наук,
ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией геохимии Луны и планет ГЕОХИ РАН,
e-mail: slyuta@geokhi.ru
SLYUTA Evgeny Nikolaevich — Candidate of Science (Geology and Mineralogy), Lead Research
Scientist, Head of the Laboratory of Lunar and Planetary Geochemistry at GEOKHI RAS,
e-mail: slyuta@geokhi.ru

Луна — единственное небесное тело, детали поверхности которого различимы для невооружённого глаза. Тем не менее, нам известна только одна карта Луны, составленная английским естествоиспытателем Вильямом Гилбертом до изобретения телескопа. В 1603 г. он составил карту поверхности Луны, отметив на ней тёмные участки. После изобретения в 1605 г. в Голландии первого телескопа схема изобретения попала в руки профессора

математики Галилео Галилея. Галилей не только воспроизвёл изобретение, но и усовершенствовал его, добившись 20-кратного увеличения. Впервые наблюдая за Луной в телескоп, он обнаружил, что она вся изрезана горами и долинами. Более тёмные ровные области он назвал морями, а более светлые, возвышенные и неровные обширные участки были названы сушей, или лунными материками. Галилей первым описал многочисленные кратеры на лунной поверхности, назвав их маленькими пятнышками. Благодаря работе Галилея, немедленно опубликованной в «Звёздном вестнике», Луна стала объектом наблюдений многочисленных исследователей на европейском континенте. Следует также упомянуть английского астронома и математика Томаса Хэрриота, который раньше Галилея наблюдал Луну в телескоп и создал одну из первых лунных карт, но, в отличие от итальянского коллеги, так никогда её и не опубликовал. В 1647 г. на лунной карте астронома Яна Гевелия появились Альпы, Апеннины, Кавказ и Карпаты. Лунная астрономия стремительно развивалась, и уже в 1651 г. папский астроном-иезуит Джованни Батиста Риччиоли сформулировал основные принципы и правила названий лунных объектов. Лунные моря получили свои латинские названия, отражающие некоторые вымышленные качественные характеристики (Море Спокойствия, Море Ясности, Океан Бурь и т. д.). Кратеры могли называться только именами философов, учёных и исторических фигур. Впоследствии, в 1928 г., эти правила были оформлены и закреплены комиссией 17-го Международного астрономического союза (*IAU* 17 *Comission De Nomenclature Lunaire*). На современной лунной карте сохранилось около 200 названий, данных Риччиоли, включая один из крупнейших кратеров Клавий, диаметром около 230 км, и один из красивейших кратеров Коперник с яркой лучевой системой. Интересно, что, вопреки очевидным заслугам Галилея, его именем был назван всего лишь маленький кратер диаметром около 15 км. История создания лунных карт после изобретения телескопов приводится во многих работах [1–4].

К началу XX столетия карты поверхности Луны, составленные с помощью телескопических наблюдений, отличались даже большей детальностью, чем карты некоторых малоизученных областей Земли. Благодаря совершенствованию телескопов и астрономической техники карты становились всё более и более подробными. Эту тенденцию легко проследить, например, по лунным картам Бэра и Мадлера (1850 г. — около 6 000 деталей), Шмидта (1878 г. — более 34 000 деталей), Уилкинса (1935 г.) и Фаута (1964 г.). В первой половине XX века интерес к Луне значительно упал. Были составлены подробнейшие карты, и Луна превратилась в хорошо знакомый объект. Достижения в спектроскопии и атомной физике, строительство мощных телескопов открыли другой, гораздо более яркий и интересный мир звёзд, галактик и Вселенной. Верными Луне остались лишь несколько наблюдателей-энтузиастов. В своих монографиях, подводящих итог многолетним наблюдениям и исследованиям, учёный-геолог Спар [5, 6] и учёный-географ Хабаков [7] объясняли природу многочисленных лунных кратеров и бассейнов и всего лунного ландшафта в целом результатом взрывной вулканической и тектоно-магматической активности. Среди немногих наблюдателей-энтузиастов был и американский бизнесмен и астроном-любитель Ральф Болдуин. В своих монографиях «Лицо Луны» [8] и «Мера Луны» [9], опубликованных на пороге космической эры, он представил уже вполне современный взгляд на историю и эволюцию Луны. Он впервые обосновал ударное происхождение лунных кратеров, и показал, что Луна — очень древний мир, насыщенный ударными кратерами. Поверхность лунных материков сохранила следы первичной интенсивной метеоритной бомбардировки. Болдуин также сделал вывод, что лунные моря представляют собой ударные бассейны, образовавшиеся в результате катастрофических ударов крупных астероидов и впоследствии заполненные базальтовыми лавами. Сегодня эти выводы уже не подвергаются сомнению.

Луна, как ближайшее к Земле небесное тело, стала первым объектом космического картографирования, начатого с первого набора снимков обратной стороны Луны, полученных советской автоматической станцией «Луна-3» в 1959 г. До 1960 г. в России не публиковалось карт Луны. Однако первый в мире «Атлас обратной стороны Луны» [10] был составлен и опубликован в СССР. Возможность исследования глобальных особенностей строения лунной поверхности стала реальной после завершения исследования Луны в 1965 г. по изображениям, полученным автоматической межпланетной станцией «Зонд-3» [11]. Советские аппараты «Луна-9, -13, -16, -17, -20, -21» продолжили исследования, завершившиеся после полёта в 1976 г. автоматической лунной станции «Луна-24» [12]. Первое издание «Полной карты Луны» [13] в масштабе 1:5 000 000 было составлено в 1966 г. под руководством Юрия Наумовича Липского на основе телескопических изображений видимой стороны и снимков обратной стороны станциями «Луна-3» и «Зонд-3». Эти карты были дополнены во втором и третьем изданиях материалами космических аппаратов (КА) США *Lunar Orbiter* и *Apollo* в 1969 и 1979 гг. Следует отметить, что вид лунной поверхности на фотографиях меняется в значительной степени при изменении условий освещения. Необходимо использовать несколько фотографий каждого участка, полученных при разной высоте Солнца над горизонтом: при освещении поверхности косыми лучами хорошо виден рельеф, а при отвесных лучах выделяются различия в цвете и альбедо. Отдельные участки видимой стороны подробно описаны в статье [14].

За первые двадцать лет космического картографирования были разработаны и использованы различные модернизированные методы получения и передачи изображений планет и спутников с КА на Землю, разработаны методы дешифрирования и повышения качества этих фотографий, методы создания сетей опорных точек, способы отображения топографии на картах и генерализации особенностей поверхности [15–17]. В то же время Соединённые Штаты запустили серию роботизированных космических аппаратов на Луну. Американские *Ranger 7*, *8*, *9*, *Surveyor 1*, *3*, *5*, *6*, *7*, серия орбитальных аппаратов *Lunar Orbiter* передали множество снимков разного разрешения. Космические корабли *Apollo 11*, *12*, *14*, *15*, *16*, *17* (табл. 1) успешно продолжили исследование Луны пилотируемыми кораблями [2, 3, 18, 19]. Кстати, недавно опубликована книга Егорова В. «Люди на Луне. Главные ответы» [20], в которой даются ответы на множество вопросов, связанных с полётами космического корабля *Apollo* на Луну.

На Обзорной карте Луны [21] показаны все места посадок КА и кораблей, в т. ч. места посадок двенадцати американских астронавтов, прилунившихся на шести участках поверхности Луны (рис. 1, табл. 2). И США, и Советский Союз создали свои серии лунных карт, используя светотеневую отмывку рельефа и альбедо поверхности. Однако, со временем карты Геологической службы США (*USGS*) становились всё более и более подробными, в то время как советское картографирование перешло к глобальным картам Луны, например, Карта Луны масштаба 1:10 000 000 была напечатана тиражом 10 000 экземпляров [22].

Таблица 1

Астронавты, побывавшие на лунной поверхности

Миссия	Дата	Астронавты	Время на Луне
Apollo 11	21.07.1969 г.	Нил Армстронг, Эдвин Олдрин	21 ч 36 мин
Apollo 12	19–20.11.1969 г.	Чарлз Конрад, Алан Бин	31 ч 31мин
Apollo 14	05–06.02.1971 г.	Алан Шепард, Эдгар Митчелл	33 ч 14 мин
Apollo 15	31.07–02.08.1971 г.	Дэвид Скотт, Джеймс Ирвин	66 ч 55 мин
Apollo 16	21–24.04.1972 г.	Джон Янг, Чарлз Дьюк	71 ч 02 мин
Apollo 17	11–14.12.1972 г.	Юджин Сернан, Харрисон Шмитт	75 ч 01 мин

Таблица 2

Места посадок на Луну автоматических аппаратов и пилотируемых кораблей

Название, страна, год	Место посадки		Результаты полёта
	Широта, °	Долгота, °	
«Луна-2», СССР, 1959 г.	29,1 с. ш.	0	Первый КА, попавший на Луну. Жёсткое падение. Установлено, что у Луны нет магнитного поля
Ranger 7, США, 1964 г.	10,6 ю. ш.	20,6 з. д.	Жёсткое падение. Передал более 4 000 снимков
Ranger 8, США, 1965 г.	2,6 с. ш.	24,8 в. д.	Жёсткое падение. Передал более 7 000 снимков хорошего качества
Ranger 9, США, 1965 г.	12,9 ю. ш.	2,4 з. д.	Жёсткое падение в кратер Альфонс. Передал около 6 000 снимков
«Луна-9», СССР, 1966 г.	7,1 с. ш.	64,4 з. д.	Первая мягкая посадка на Луну в Океане Бурь. Станция работала трое суток, передала панорамы места посадки с разрешением до 1 мм
Surveyor 1, США,1966 г.	2,4 ю. ш.	43,2 з. д.	Первая мягкая посадка на Луну американского КА. Исследованы свойства грунта, получено более 11 000 снимков
«Луна-13», СССР, 1966 г.	19,9 с. ш.	62,1 з. д.	Мягкая посадка в Океане Бурь, переданы панорамы, измерены плотность и радиоактивность грунта
Surveyor 3, США, 1967 г.	3,0 ю. ш.	23,4 з. д.	Посадка в Океане Бурь, получено более 6 000 снимков
Surveyor 5, США, 1967 г.	1,4 с. ш.	23,2 в. д.	Посадка в Море Спокойствия, впервые изучен элементный состав грунта, передано на Землю более 19 000 снимков
Surveyor 6, США, 1967 г.	0,5 с. ш.	1,4 в. д.	Посадка в Заливе Центральном. Передано более 30 000 снимков. По команде с Земли аппарат подпрыгнул и переместился. Исследован грунт
Surveyor 7, США, 1968 г.	40,9 ю. ш.	11,4 з. д.	Посадка в 30 км от кратера Тихо. Получено 21 274 снимка. Прорыты канавки, исследован грунт, проведена регистрация лазерного сигнала с Земли
Apollo 11, США, 1969 г.	0,7 с. ш.	23,4 в. д.	Два астронавта, Нил Армстронг и Базз (Эдвин) Олдрин, впервые высадились в Море Спокойствия, провели там 21,6 ч (2,5 ч работали на поверхности), взяли образцы грунта. 21,7 кг доставлено на Землю
Apollo 12, США, 1969 г.	3,0 ю. ш.	23,4 з. д.	Точная посадка в 156 м от КА *Surveyor 3*. Доставлено 31,4 кг образцов лунных пород. Два астронавта работали 7 ч на поверхности
«Луна-16», СССР, 1970 г.	0,7 ю. ш.	56,3 в. д.	Посадка аппарата в Море Изобилия, пробурена скважина на глубину 35 см. Впервые 101 г грунта доставлен на Землю автоматическим зондом
«Луна-17», СССР, 1970 г.	38,3 с. ш.	35,0 з. д.	Посадка в Море Дождей. Первый самоходный аппарат «Луноход-1» доставлен на Луну. За 300 сут он прошёл 10,5 км, передал 20 000 снимков, более 200 панорам, изучал элементный состав и механические свойства грунта
Apollo 14, США,1971	3,6 ю. ш.	17,8 з. д.	Посадка у кратера Фра Мауро. Астронавты использовали ручную тележку для сбора 42,93 кг образцов. Два выхода длительностью 9,5 ч
Apollo 15, США, 1971 г.	26,1 с. ш.	3,6 в. д.	Посадка в районе пика Хэдли. Проехали 27 км на ровере. Пробурили 2,7 м ручным буром. Доставили 77 кг грунта
«Луна-20», СССР, 1972 г.	3,5 с. ш.	56,6 в. д.	Автоматическая доставка 52 г грунта из материкового района
Apollo 16, США, 1972 г.	9,0 ю. ш.	15,5 в. д.	Астронавты провели на Луне трое суток, из них 20 ч вне модуля. Доставили 95,33 кг грунта
Apollo 17, США, 1972 г.	20,2 с. ш.	30,8 в. д.	Посадка астронавтов в р-не Тавр-Литтров. Впервые в экипаже учёный-геолог Шмитт. Проехали на электромобиле 36 км. Доставили около 120 кг грунта
«Луна-21», СССР, 1973 г.	25,8 с. ш.	30,4 в. д.	Посадка в кратере Лемонье. «Луноход-2» прошёл 37 км, передал 86 панорам и 86 тыс. снимков
«Луна-24», СССР, 1976 г.	12,8 с. ш.	62,2 в. д.	Посадка в Море Кризисов. Бурение на глубину 1,8 м. На Землю доставлено 170 г грунта
Chang'e 3, Китай, 2013 г.	44,1 с. ш.	19,5 з. д.	Посадка лунохода *Yutu* в Море Дождей
Chang'e 4, Китай, 2019 г.	45,5 ю. ш.	177,6 в. д.	Посадка на обратной стороне Луны в кратере фон Карман. Впервые измерен уровень радиации на поверхности Луны в зависимости от времени. Выполнен биологический эксперимент по проращиванию семян. Луноход *Yutu* 2
Chang'e 5, Китай, 2020 г.	43,0 с. ш.	51,9 з. д.	1 731 г образцов лунного грунта доставлены на Землю

Современные исследования и картографирование Луны

Современные технологии и геоинформационное картографирование позволяют автоматизировать многие этапы создания карт, что значительно отличается от технологии создания рисованных вручную карт первых десятилетий космической эры. Большие объёмы данных, получаемых КА, стало возможно обрабатывать в автоматическом режиме и представлять в виде различных обзорных и тематических карт [23]. Сегодня выпускают разнообразные глобальные топографические карты и глобусы планет земной группы и Луны [21, 24, 25]. В картографировании планет доминируют ГИС-технологии [26–30].

В последние десятилетия информация о рельефе и физических особенностях Луны была значительно детализирована и дополнена следующими КА: *Clementine* (США, 1994 г.), *Lunar Prospector* (США, 1998 г.), *SMART-1* (*ESA*, 2004 г.), *Kaguya* (Япония, 2007 г.), *Chang'e 1*, *2* (Китай, 2007, 2010 гг.), *Chandrayaan-1*, *-2* (Индия, 2008, 2019 гг.), *Lunar Reconnaissance Orbiter* (*LRO*) (США, 2009 г.), *GRAIL* (США, 2011 г.), *LADEE* (США, 2013 г.), *Chang'e 3*, *4*, *5* (Китай, 2013, 2019, 2020 гг.). С помощью двух небольших КА *GRAIL NASA* удалось в тысячу раз повысить точность гравитационных карт Луны, выявить множество крупных кольцевых структур на поверхности Луны, которые ранее не были обнаружены, а также структуры и лавовые трубы под поверхностью. Средняя толщина лунной коры (35 км) оказалась вдвое меньше, чем предполагалось до этих исследований. Ландшафт обратной стороны Луны оказался сильно отличающимся от видимой стороны тем, что моря большей частью расположены на видимой стороне, а на обратной преобладают возвышенности [31].

Интересно, что в результате многочисленных съёмок лунной поверхности выяснилось, что лунное Море Москвы, впервые сфотографированное в СССР в 1959 г., оказалось уникальным местом. Мультиспектральные данные с КА *Clementine* (1994 г.) показали, что магма неоднократно проникала на поверхность и заполняла всё дно этого образования. Космический аппарат *Kaguya* определил, что в этом месте толщина лунной коры минимальна. Спектрометр *NASA The Moon Mineralogy Mapper* (M^3), установленный на индийском КА *Chandrayaan-1*, показал наличие ортопироксена, оливина и шпинели, богатых магнием [32]. Радар *Mini-SAR* (*Chandrayaan-1*) обнаружил присутствие водяного льда в грунте в полярных областях Луны [33], а по данным спектральных исследований с помощью прибора M^3 было обнаружено широкое распространение на поверхности частиц лунного реголита адсорбированной молекулярной воды, концентрация которой меняется в зависимости от времени лунных суток и существенно увеличивается в высоких широтах, близких к полюсам [32]. Орбитальный модуль *Chandrayaan-2* (2019 г.) фотографировал лунную поверхность с полярной орбиты высотой ~100 км. К сожалению, спускаемый аппарат *Vikram* разбился в районе Южного полюса Луны [34].

Лазерные высотомеры КА *Kaguya* и *LRO* с высокой точностью определяли высóты лунной поверхности. Одним из главных открытий зонда *LRO* стало то, что вместе с зондом *LCROSS* удалось обнаружить следы воды в кратере Кабео в южной полярной области Луны. Кроме того, *LRO* обнаружил своеобразные зоны вечной мерзлоты, куда не попадают солнечные лучи и где лёд в лунном грунте должен существовать вечно, а в 2012 г. обнаружил лёд в грунте и в светлых частях кратеров. Ключевую роль в этом открытии сыграл российский детектор нейтронов *LEND*, разработанный ИКИ РАН [35]. Разрешение изображений *LRO* достигает 30 см, поэтому удалось обнаружить почти все спускаемые аппараты, оставшиеся на поверхности Луны (см. табл. 2).

Китайский луноход *Yutu* (мифологический «нефритовый заяц») на борту посадочного модуля *Chang'e 3* прилунился в Море Дождей 14 декабря 2013 г. В 2019 г. *Chang'e 4* совершил мягкую посадку на обратной стороне Луны в кратере фон Карман, расположенном в гигантском бассейне Южный полюс–Эйткен. В 2020 г. *Chang'e 5* совершил посадку в районе Горы Рюмкер в северной части Океана Бурь, собрал грунт и доставил его на Землю (см. табл. 2). Первоначальный анализ лунного грунта показал, что он содержит восемь основных элементов: магний, алюминий,

кремний, калий, кальций, титан, хром и железо. Кроме того, имеются следы стронция, иттрия и циркония.

Китай выпустил свои первые лунные карты в 2008 г. на основе данных аппарата *Chang'e* и продолжает расширять производство планетных карт. Международный каталог планетных карт доступен на веб-сайте Международной картографической ассоциации по планетарной картографии [19]. Институты и группы, работающие в области планетной картографии, представлены в книге *Planetary Cartography and GIS* в главе *Participants and initiatives in planetary cartography* [22].

Создание Обзорной карты Луны

Наши знания о лунной топографии значительно улучшились за последние два десятилетия благодаря сочетанию лазерной альтиметрии и изображений, полученных с орбитальных КА. Рельеф лунной поверхности подробно отображён на Обзорной карте Луны в масштабе 1:13 000 000 с использованием послойной окраски и полутоновой отмывки [21]. Мы использовали цифровую модель местности [36], основанную на данных лазерного высотомера *Lunar Reconnaissance Orbiter* с разрешением 64 пикселя на градус (0,5 км на пиксель). В дополнение к рельефу на карте показаны названия крупных образований Луны на латинском языке, принятом Международным астрономическим союзом (МАС), и на русском языке [37]. Большинство лунных кратеров на видимой стороне названы в честь известных людей в истории науки, таких как Тихо Браге, Коперник, Птолемей и др. На обратной стороне кратеры имеют более современные названия, такие как Аполлон, Гагарин, Королёв и др. Условными знаками обозначены места посадок КА и пилотируемых кораблей, исследовавших поверхность. Карта составлена в равновеликой азимутальной проекции Ламберта (рис. 1). На карте приведены справочные данные, графики распределения площадей, занимаемых разными высотами, смена фаз Луны, схема лунных затмений и данные об астронавтах, побывавших на поверхности спутника Земли.

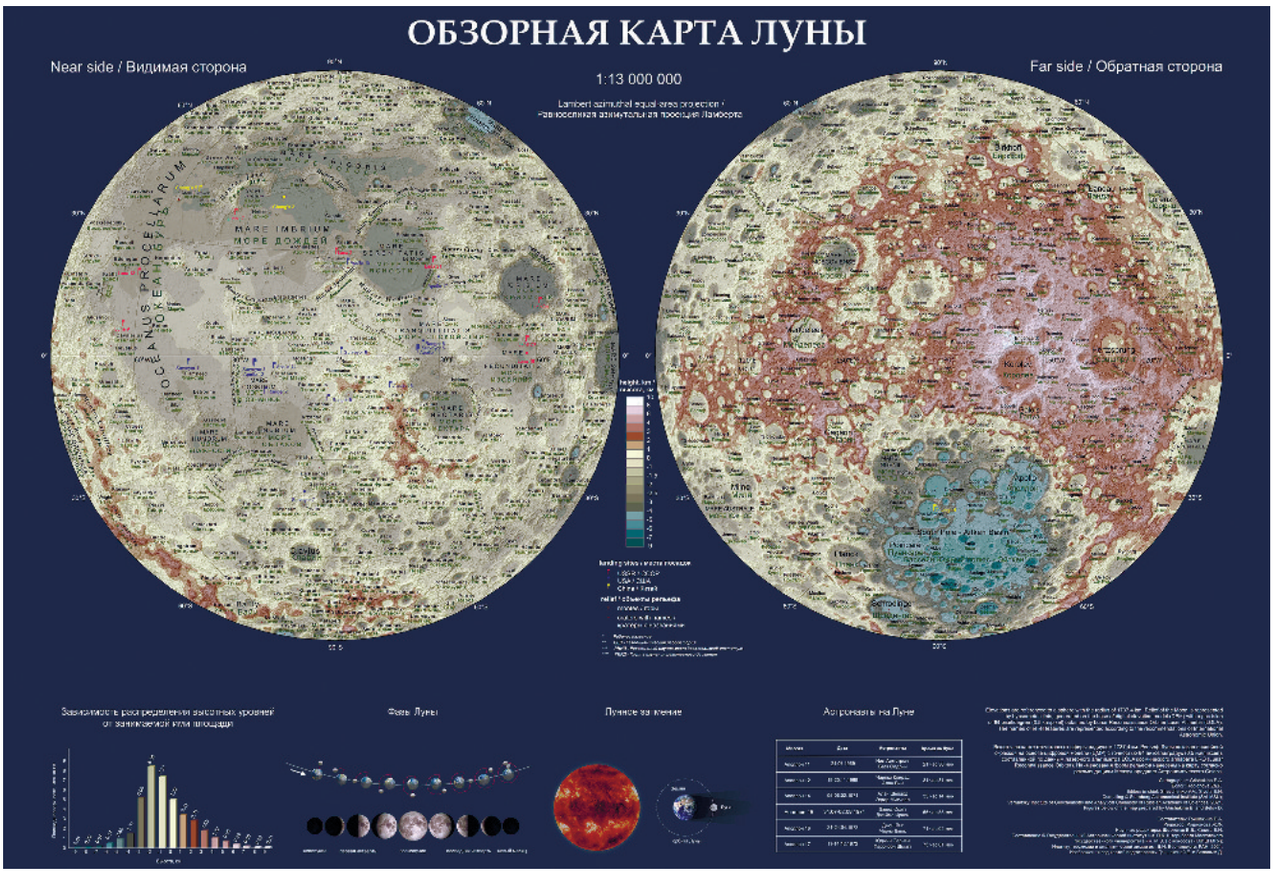


Рис. 1. Обзорная карта Луны, на которой показаны все места посадок аппаратов и пилотируемых кораблей (ГАИШ МГУ, ГЕОХИ РАН, 2021 г.)

Высóты на карте отсчитаны от сферы со средним радиусом 1 737,4 км. Шкала высот включает в себя 17 уровней. Общий перепад высот на Луне составляет почти 20 км. В табл. 3 приведены типы лунного рельефа, принятые МАС для Луны, и указано количество принятых МАС названий (*http://planetarynames.wr.usgs.gov/*).

Таблица 3

Типы лунного рельефа, принятые Международным астрономическим союзом

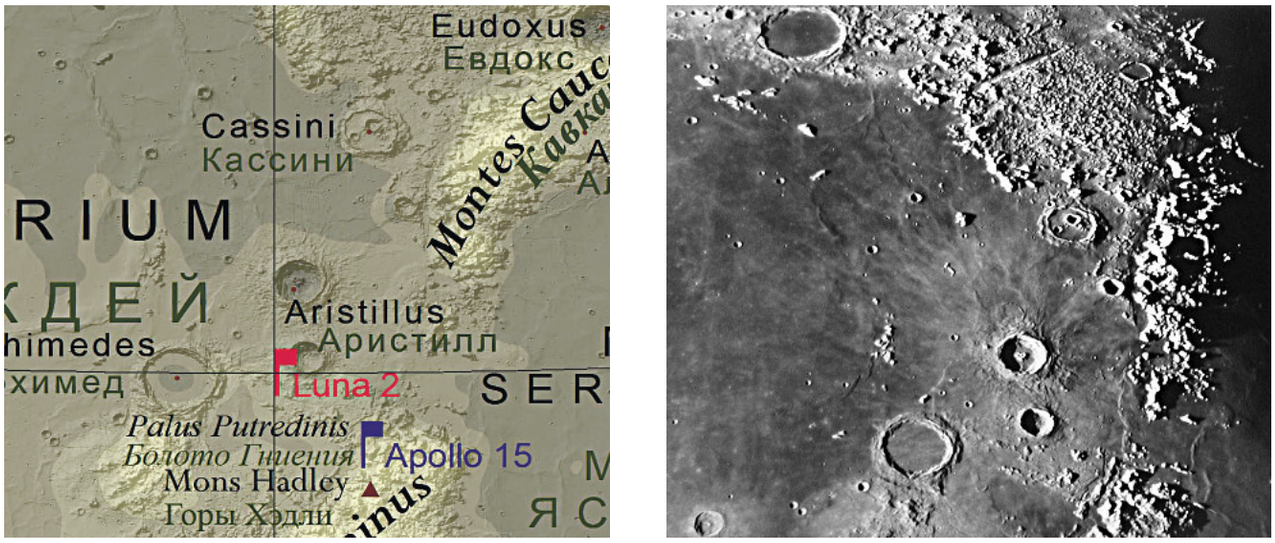
№	Русское название	Латинское название	Количество названий
1	Альбедо	*Albedo Feature*	1
2	Цепочка кратеров	*Catena*	20
3	Кратер	*Crater*	1 619
4	Гряда/Гряды	*Dorsum/Dorsa*	40
5	Впадина/Впадины	*Fossa/Fossae*	2
6	Озеро	*Lacus*	20
7	Названия в районах посадки КК *Apollo*	*Landing site name*	83
8	Море	Mare	22
9	Гора, пик/Горы	*Mons/Montes*	49
10	Океан	Oceanus	1
11	Болото	*Palus*	3
12	Равнина	*Planitia*	1
13	Мыс	*Promontorium*	9
14	Борозда/Борозды	*Rima/Rimae*	121
15	Уступ	*Rupes*	8
16	Сателлиты крупных кратеров	*Satellite Feature*	7 115
17	Залив	*Sinus*	11
18	Долина/Долины	*Valley/Vallis*	14
Σ			9 139

Примечание. Сателлиты крупных кратеров — это кратеры, у которых помимо названия имеется ещё и буквенное обозначение (например, Рождественский *W*).

Бóльшая часть коры Луны (83%) состоит из силикатных пород, называемых анортозитами; эти регионы известны как лунные возвышенности [38, 39]. Морские породы (17%) состоят в основном из базальта тёмного цвета (вулканической лавы), образовавшегося в результате извержений вулканов миллиарды лет назад. Самый молодой из лунных ударных бассейнов — Море Восточное.

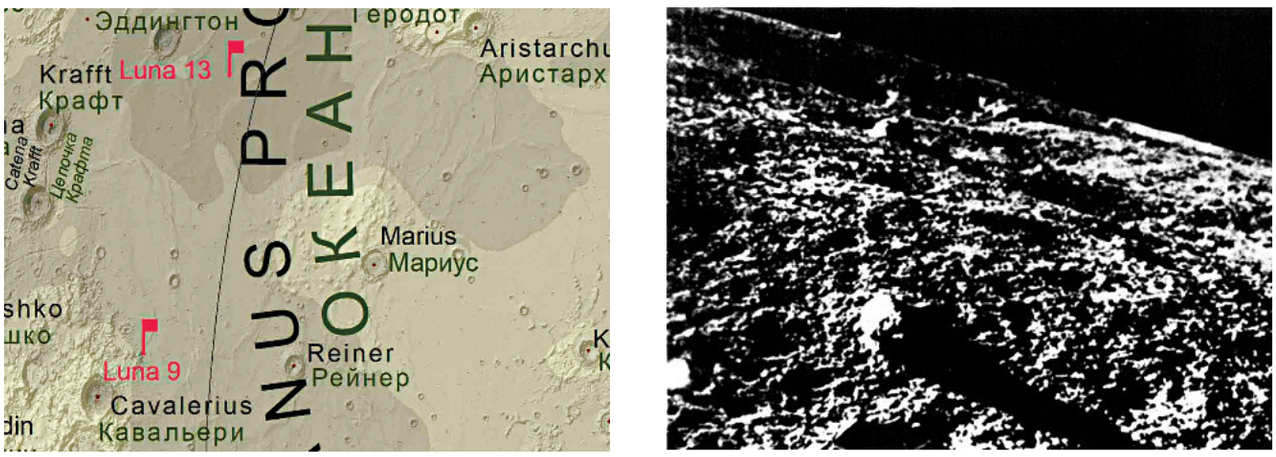
Увеличив обзорную карту (см. рис. 1), можно увидеть рельеф лунной поверхности. Видимое и обратное полушария Луны отличаются количеством тёмных морей, которые занимают 30% площади полушария на видимой стороне и только 3,5% — на обратной. *Oceanus Procellarum* (Океан Бурь), *Mare Imbrium* (Море Дождей), *Mare Frigoris* (Море Холода), *Mare Serenitatis* (Море Ясности), *Mare Humorum* (Море Влажности), *Mare Nubium* (Море Облаков), *Mare Tranquillitatis* (Море Спокойствия), *Mare Nectaris* (Море Нектара), *Mare Crisium* (Море Кризисов), *Mare Smithii* (Море Смита) и др. расположены на видимой стороне, но на обратной — только *Mare Moscovience* (Море Москвы), *Mare Ingenii* (Море Мечты), *Mare Orientale* (Море Восточное), *Mare Australe* (Море Южное). В то же время, на обратной стороне можно видеть множество крупных кольцевых структур — бассейнов, не заполненных базальтовой лавой, в т. ч. самый большой бассейн Южный полюс–Эйткен диаметром более 2 500 км [40]. Лунные морские базальты отличаются от земных более высоким содержанием оксидов железа и титана. На рис. 2–9 показаны места посадок некоторых космических аппаратов и кораблей.

Космический аппарат *Chang'e 3* опустился в районе тектонических структур, называемых гребнями морщин в Море Дождей (рис. 7). Это длинные, изогнутые хребты, которые образовались, когда лавы остыли и сжались. Данные с орбитальных аппаратов и ровера *Yutu* показали, что эти морщинистые хребты и небольшие молодые кратеры образовались поверх базальтов возрастом в миллиард лет, что говорит о том, что хребты сформировались относительно недавно. Китайские учёные обнаружили более высокие, чем предполагалось, концентрации железа в Море Дождей, наряду с ожидаемыми высокими значениями для магния, алюминия и других минералов.



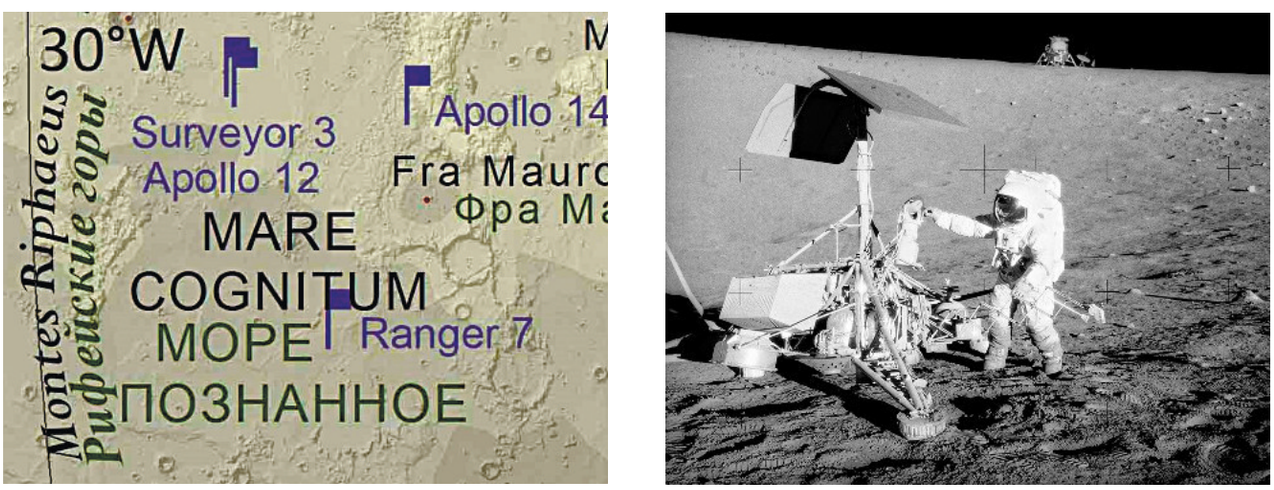
а) б)

Рис. 2. Места посадок автоматических межпланетных станций «Луна-2» и Apollo 15 на карте (а). Телескопическое изображение того же региона (б)



а) б)

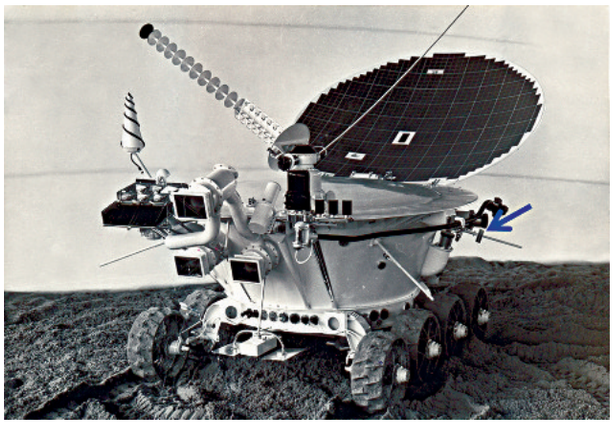
Рис. 3. Места посадок автоматических лунных станций «Луна-9» и «Луна-13» на карте (а). Изображение области Океана Бурь крупным планом с советского посадочного модуля «Луна-9» в феврале 1966 г. (б)



а) б)

Рис. 4. Места посадок Surveyor 3, Apollo 12, 14 и Ranger 7 на карте (а) и изображение астронавта Алана Бина (Apollo 12) рядом со станцией Surveyor 3 (б)

а)



б)

Рис. 5. Места посадок КА «Луна-21» и Apollo 17 на карте (а). Спускаемый аппарат «Луна-21» — «Луноход-2» (б)

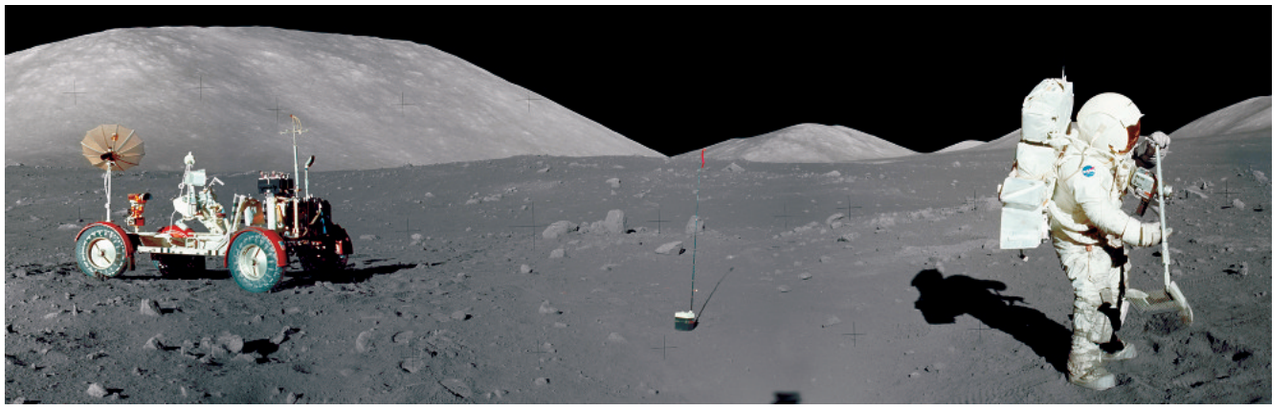


Рис. 6. Миссия Apollo 17 в районе гор Тавр (NASA)

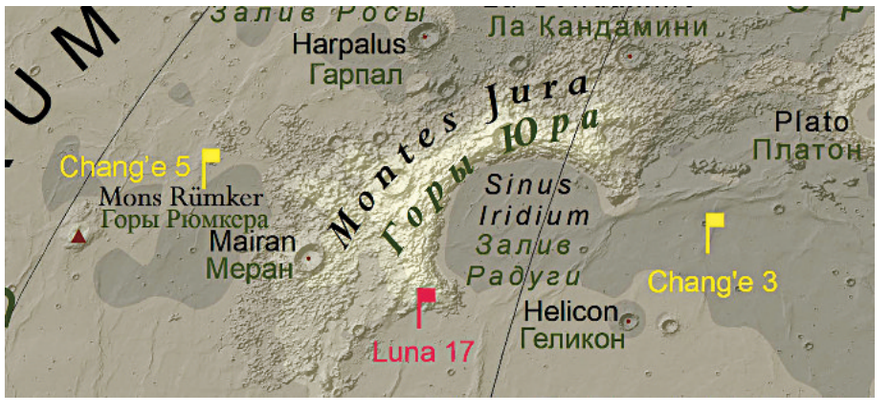


Рис. 7. Места посадок космических аппаратов «Луна-17», Chang'e 3 и Chang'e 5 на Обзорной карте Луны

Район Горы Рюмкер, расположенный в северной части Океана Бурь, был выбран кандидатом для китайской миссии по возвращению лунных пород с помощью аппарата *Chang'e 5* [41]. Этот район геологически сложен и известен своей вулканической активностью. В вулканической провинции Горы Рюмкер и прилегающей к ней морской равнине присутствуют все возрастные группы морских базальтов — от наиболее древних до наиболее молодых, и обширные отложения пирокластики, а также почти все спектральные классы морских базальтов — от низко- до высокотитанистых [42].

3 января 2019 г. китайский *Chang'e 4* стал первой космической миссией, осуществившей посадку на обратной стороне Луны [43]. *Chang'e 4* (рис. 8, 9) включает в себя лунный спускаемый аппарат и ровер *Yutu 2*, а также ряд приборов для проведения научных экспериментов. *Yutu 2* начал исследовать кратер вскоре после прилунения, используя свой спектрометр в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах для анализа состава поверхности и изучения пород под поверхностью. Анализ данных спектрометра *Yutu 2* позволяет предположить, что кратер Карман содержит оливин и пироксен с низким содержанием кальция, минералы, которые могли поступить из мантии.

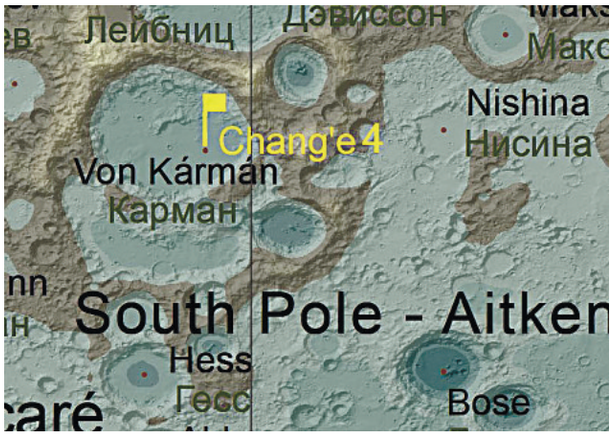


Рис. 8. Место посадки аппарата Chang'e 4 в кратере Карман, расположенном в гигантском бассейне Южный полюс–Эйткен на обратной стороне Луны

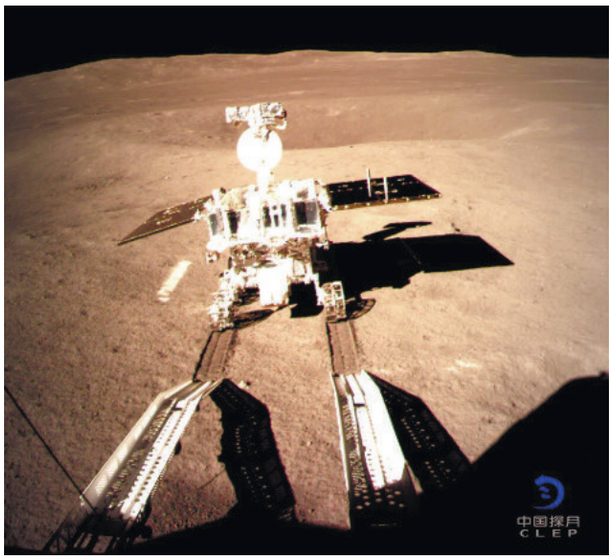


Рис. 9. Ровер Yutu 2 исследует обратную сторону Луны (CNSA)

Будущие исследования Луны космическими аппаратами

В ближайшие годы несколько стран планируют полёты на Луну. В южной полярной области Луны посадка российского аппарата «Луна-25» («Луна-Глоб») запланирована на 2023 г. Главные задачи этой миссии — отработка технологии мягкой посадки, исследование грунта контактным методом, а также подтверждение наличия воды. Для этого предназначен манипуляторный комплекс, обеспечивающий забор лунной породы ковшом и перекладку её в специальный прибор-анализатор [44]. Вслед за этой станцией к Луне последуют более сложные космические аппараты: лунный орбитальный аппарат «Луна-26» [45], посадочный аппарат «Луна-27» для исследования замороженных летучих компонентов в лунном грунте и изучения его химического и минерального состава, а также теплофизических, физико-механических и электромагнитных свойств [46], и посадочный аппарат «Луна-28» для доставки лунного грунта на Землю [42, 47, 48].

В конце 2022 г. планируется полёт индийского КА *Chandrayaan-3*. Этот аппарат, в отличие от *Chandrayaan-2*, будет включать в себя только посадочный модуль и ровер. Германия запустит спускаемый аппарат и луноход с помощью ракеты *Falcon 9* (США). *NASA* отправит в декабре 2022 г. на Луну новый планетоход *VIPER*. Целью аппарата будет детальное картирование распределения и концентрации воды в районе Южного полюса Луны, который считается одним из самых перспективных мест для организации обитаемой станции.

Миссия аппарата *Chang'e 6* четвёртого этапа китайской программы запланирована на 2023–2024 гг. в сотрудничестве с Францией. Предполагается, что в рамках предварительной подготовки к строительству базы аппарат прилунится близко к Южному полюсу. Япония надеется выполнить точную посадку своего аппарата на поверхность с помощью орбитального аппарата и посадить луноход на Южном полюсе. *JAXA* надеется отправить своих астронавтов на Луну к 2030 г. Великобритания планирует запустить свой первый лунный спускаемый аппарат к 2024 г., при этом орбитальный зонд будет изучать химический состав реголита, обеспечивать связь и составлять карту лунной поверхности. Южная Корея совместно с *ESA* намерена запустить лунный орбитальный и спускаемый аппараты в 2025 г.

США планируют запустить несколько КА на Луну в 2024 г. Программа *NASA Artemis* направлена на высадку астронавтов на Луну, в том числе первой женщины-астронавта [49]. Программа названа в честь богини Луны Артемиды, которая в греческой мифологии является сестрой-близнецом Аполлона. Основная цель программы — вернуть людей на поверхность Луны и обеспечить долгосрочное присутствие человека на Луне.

«Лунные завихрения» (рис. 10) обнаруживаются там, где лунная кора намагничена, хотя не во всех магнитных областях есть завихрения. Яркие области

в завитках выглядят менее выветренными, чем их окружение. В недавней презентации *NASA* программы *Artemis*, которая должна быть реализована к 2024 г., в разделе, посвящённом неполярным посадочным аппаратам и роверам, в частности, отмечалось, что необходимо исследовать ценные, с точки зрения науки, местности, не исследованные *Apollo*, включая посадку в «лунном завихрении», и выполнить первое измерение магнитного поля поверхности [49]. Учёные, изучающие магнитные поля, предполагают, что они могли образоваться в результате процессов, связанных с ударами — либо кометной комой, либо плазменными эффектами, возникающими в результате образования большого ударного бассейна. Пилотируемые полёты на Луну, скорее всего, возобновятся после 2024 г.

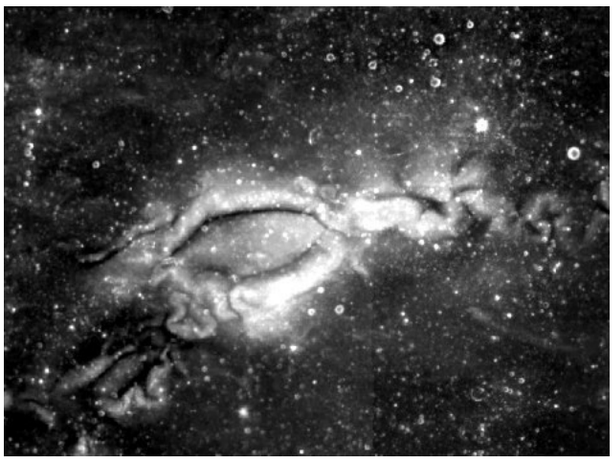


Рис. 10. Такой узор называется «лунным завихрением» (swirls). Эти яркие объекты могут достигать десятков километров в поперечнике и проявляться как в виде отдельных структур, так и в виде обширных групп или поясов

Заключение

В процессе составления Обзорной карты Луны масштаба 1:13 000 000 были изучены характерные особенности лунного рельефа, отобраны и обработаны самые подробные данные лазерного высотомера *LOLA* космического аппарата *LRO*, которые были использованы в качестве исходных данных. Использовано программное обеспечение *ESRI ArcGIS 10.1*. В ходе разработки цветовой шкалы для отображения высот на карте была учтена совершенно различная природа рельефа на видимом и обратном полушариях, и решена задача отображения характерных форм рельефа на всех интервалах высот. Так, для наглядной демонстрации деталей рельефа морских областей было выбрано более дробное деление по высотным ступеням от –1,0 до –3,0 км (с шагом 0,5 км). Благодаря этому на Обзорной карте Луны удалось показать характерные особенности дна морей видимого полушария. Так, например, дно Моря Дождей оказалось глубже в северной части, по сравнению с южной, а дно Моря Ясности в центральной части глубже, чем на периферии. С помощью картографических методов исследования удалось определить глубину морей и крупных бассейнов, расположенных на видимой и обратной сторонах Луны. Наиболее глубокими оказались бассейн Южный полюс–Эйткен (средняя глубина которого составляет 9 км), Море Восточное (8,5 км), Море Москвы (7,5 км), а также бассейн Аполлон (7,5 км). Обзорная карта Луны может быть использована для многочисленных исследований, позволяющих выявлять особенности и закономерности между отдельными формами рельефа и параметрами кратеров. На основе Обзорной карты Луны проведён представленный в данной статье обзор исследований лунной поверхности космическими аппаратами и пилотируемыми кораблями *Apollo*. Обзорная карта Луны является научно-справочным картографическим произведением. Картографические материалы были использованы при выборе основного и резервного мест посадки автоматической лунной станции (АЛС) «Луна-25» в южной приполярной области Луны, а также послужат при реализации проектов АЛС «Луна-26», «Луна-27» и «Луна-28».

Список литературы

1. *Drake S. Discoveries and opinions of Galileo. New York: Doubleday Anchor, 1957. 31 p.*
2. *Kopal Z., Carder R.W. Mapping of the Moon. Past and Present. Springer Science + Business Media, 1974. 240 p.*
3. *Batson R.M. Mapping the planets // Endeavour New Ser. 1991. № 15(3). P. 107–114.*
4. *Родионова Ж.Ф.* История лунных карт // В кн.: Путешествия к Луне / Ред.-сост. В.Г. Сурдин. Изд. 4-е, испр. и доп. М.: Физматлит, 2019. С. 193–235.

5. *Spurr J.E. Geology applied to selenology. Part I, II. Lancaster, Pennsylvania, 1945. 318 p.*

6. *Spurr J.E. Geology applied to selenology. Part III. Lancaster, Pennsylvania, 1949. 253 p.*

7. *Хабаков А.В.* Об основных вопросах истории развития поверхности Луны. М.: Гос. изд-во географической лит-ры, 1949. 195 с.

8. *Baldwin R.B. The Face of the Moon. Chicago: Univ. Chicago Press, 1949. 239 p.*

9. *Baldwin R.B. The Measure of the Moon. Chicago: Univ. Chicago Press, 1963. 488 p.*

10. *Барабашов Н.П., Михайлов А.А., Липский Ю.Н.* Атлас обратной стороны Луны. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 169 с.

11. Атлас обратной стороны Луны. Ч. 2 / Под ред. Ю.Н. Липского. М.: Наука, 1967. 236 с.

12. Лунный грунт из Моря Кризисов: Сб. статей / Отв. ред. В.Л. Барсуков. М.: Наука, 1980. 360 с.

13. Полная карта Луны, 1:5 000 000 / Под науч. рук. Ю.Н. Липского, ГАИШ МГУ, Топогеодезическая служба СССР. М.: Наука, 1967, 1969, 1979.

14. *Чикмачев В.И.* Путешествия к Луне с телескопом // В кн.: Путешествия к Луне / Ред.-сост. В.Г. Сурдин. Изд. 4-е, испр. и доп. М.: Физматлит, 2019. С. 89–175.

15. *Липский Ю.Н.* Карта зоны экваториальной области видимого полушария Луны, 1:1 000 000. ГАИШ МГУ, ЦНИИГАиК. М.: Наука, 1968.

16. *Rodionova Zh.F. Space achievements and Maps and Globus of planets // Geodesy and Cartography. 1991. № 7. P. 15–22.*

17. *Shevchenko V.V., Rodionova Zh.F., Michael G.G. Lunar and planetary cartography in Russia // Heidelberg: Springer, 2016. 145 c.*

18. *LPI Lunar map catalog / Lunar and Planetary Institute. 2015.* Режим доступа: *http://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/* (дата обращения 20.07.2022 г.).

19. *Hargitai H. Catalog of planetary maps. 2018.* Режим доступа: *https://www.europlanet-society.org/european-planetary-mapping-a-worldwide-historical-view-of-our-solar-system/* (дата обращения 18.08.2022 г.).

20. *Егоров В.* Люди на Луне. Главные ответы / Под науч. ред. В.Г. Сурдина. М.: Альпина нон-фикшн, 2020. 432 с.

21. *Гришакина Е.А., Родионова Ж.Ф., Шевченко В.В, Слюта Е.Н.* Обзорная карта Луны. 1:13 000 000. М.: ГАИШ МГУ, Институт геохимии и аналитической химии имени Вернадского, 2018, 2021.

22. *Nass A., Hargitai H. Participants and initiatives in planetary cartography // In the book: Planetary Cartography and GIS. Cham: Springer Nature, 2019. P. 355–374.* Режим доступа: *https://doi.org/10.1007/978-3-319-62849-3* (дата обращения 20.07.2022 г.).

23. *Tanaka K.L., Skinner J.A. Jr., Hare T.M. Planetary geologic mapping handbook. Flagstaff: USGS, 2011.*

24. *Гришакина Е.А., Лазарев Е.Н., Родионова Ж.Ф., Шевченко В.В.* Гипсометрическая карта Луны. М.: ГАИШ МГУ, МИИГАиК, 2014.

25. *Большаков В.Д., Маров М.Я., Бугаевский Л.М., Шингарева К.Б., Краснопевцева Б.В. и др.* Атлас планет земной группы и их спутников. М.: МИИГАиК, 1992. 208 с.

26. *Berlyant A.M. Integration of cartography and geoinformatics: Trends of the 90s // Geodesy and Cartography. 1991. № 7. P. 37–41.*

27. *Tikunov V.S. Some theoretical trends in cartography // Geodesy and Cartography. 1991. № 7. P. 32–36.*

28. *Hare T.M., Tanaka K.L. Planetary interactive GIS-on-the-web analyzable database (PIGWAD) // 20th International cartography conference (ICC), August 6–10, 2001, Beijing, China.*

29. *Hare T.M., Kirk R.L., et al. Chapter 60: Extraterrestrial GIS // In the book: Manual of geographic information systems. The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, 2009. P. 1199–1219.*

30. *Nass A., Hargitai H., Buchroithner M. Cartography: its role and interdisciplinary character in planetary science // In the book: Planetary Cartography and GIS. Cham: Springer Nature, 2019. P. 3–26.* Режим доступа: *https://doi.org/10.1007/978-3-319-62849-3* (дата обращения 20.07.2022 г.).

31. *Spudis P.D. The value of the Moon. Washington, DC: Smithsonian Books, 2019. 243 p.*

32. *Pieters C.M., Goswami J.N., Clark R.N., Annadurai M., Boardman J., Buratti B., Combe J.P., Dyar M.D., Green R., Head J.W., Hibbitts C., Hicks M., Isaacson P., Klima R., Kramer G., et al. Character and spatial distribution of OH/H_2O on the surface of the Moon seen*

by M³ on Chandrayaan-1 // Science. 2009. V. 326. P. 568–582.

33. Spudis P.D., Bussey D.B.J., Baloga S.M., Cahill J.T.S., Glaze L.S., Patterson G.W., Raney R.K., Thompson T.W., Thomson B.J., Ustinov E.A. Evidence for water ice on the Moon: Results for anomalous polar craters from the LRO Mini-RF imaging radar // J.G.R. Planets. 2013. V. 118. P. 2016–2029.

34. Chandrayaan-2 Mission ISRO. Режим доступа: *www.isro.gov.in* (дата обращения 20.07.2022 г.).

35. Litvak M.L., Mitrofanov I.G, Sanin A.B., Golovin D.V., Malakhov A.V., Boynton W.V., Droege G.F., Harshman K., Starr R.D., Milikh G., Sagdeev R. LEND neutron data processing for the mapping of the Moon // J. Geophys. Planets. 2012. V. 117. № E00H32. Режим доступа: *https://doi.org/10.1029/2011JE004035* (дата обращения 20.07.2022 г.).

36. Barker M.K., Mazarico E., Neumann G.A., Zuber M.T., Haruyama J., Smith D.E. A new lunar digital elevation model from the Lunar Orbiter Laser Altimeter and SELENE Terrain Camera // Icarus. 2016. V. 273. P. 346–355.

37. Пугачева С.Г., Родионова Ж.Ф., Скобелева Т.П., Феоктистова Е.А., Шевченко В.В. Наименования форм рельефа Луны. М.: *OneBook*, 2022. 144 с.

38. Липский Ю.Н., Родионова Ж.Ф. Картометрические исследования видимой и обратной стороны Луны // В кн.: Атлас обратной стороны Луны. Ч. 3. М.: Наука, 1975. С. 110–122.

39. Шевченко В.В. Современная селенография. М.: Наука, 1980. 288 с.

40. Rodionova Zh.F., Zharkova A.Yu., Grishakina E.A., Shevchenko V.V. Topographic features of the Lunar maria and basins // Solar System Research. 2021. V. 55. № 3. P. 183–199.

41. Qian Y., Xiao L., James W., Head J.W., van der Bogert C.H., Hiesinger H., Wilson L. Young lunar mare basalts in the «Chang'e 5» sample return region, northern Oceanus Procellarum // Earth and Planetary Science Letters. 2021. V. 555. 116702. Режим доступа: *https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116702* (дата обращения 20.07.2022 г.).

42. Marov M.Ya., Slyuta E.N. Early steps toward the Lunar base deployment: Some prospects // Acta Astronautica. 2021. V. 181. P. 28–39.

43. Leslie M. A Chinese lander explores the far side of the Moon // Engineering. 2019. № 5. P. 598–599.

44. Маринин И. Год до запуска // Русский космос. 2020. № 8. С. 38–41.

45. Слюта Е.Н., Высочкин В.В., Иванов В.В., Маковчук В.Ю., Назаров А.И., Погонин В.И., Роскина Е.Г., Сафронов В.В., Таций Л.П. Прибор «МЕТЕОР-Л» на лунном орбитальном аппарате «Луна-26»: детектор космической пыли // Астрономический вестник. 2021. Т. 55. № 5. С. 444–453.

46. Слюта Е.Н., Маров М.Я., Дунченко А.Г., Маковчук В.Ю., Морозов О.В., Назаров А.И., Иванов В.В., Погонин В.И., Роскина Е.Г., Сафронов В.В., Харлов Б.Н., Таций Л.П. Эксперимент ТЕРМО-ЛР на посадочном аппарате «Луна-27»: изучение теплофизических, физико-механических и электромагнитных свойств лунного грунта // Астрономический Вестник. 2021. Т. 55. № 5. С. 454–475.

47. Slyuta E.N. The scientific tasks of the Luna-Grunt project (Luna-28) // 8th Moscow Solar System symposium, 2017. P. 247–249.

48. Slyuta E.N. The Luna program // In the book: Sample Return Missions. The Last Frontier of Solar System Exploration / Ed. A. Longobardo. Amsterdam: Elsevier, 2021. P. 37–78.

49. Leonard D. Could weird Lunar swirls help people settle the Moon? 2019. Режим доступа: *https://www.space.com/mysterious-moon-swirls-resource-potential.html* (дата обращения 18.08.2022 г.).

Статья поступила в редакцию 27.04.2022 г.
Окончательный вариант — 06.06.2022 г.

References

1. Drake S. *Discoveries and opinions of Galileo*. New York, Doubleday Anchor, 1957, 31 p.

2. Kopal Z., Carder R.W. *Mapping of the Moon. Past and Present*. Springer Science + Business Media, 1974, 240 p.

3. Batson R.M. Mapping the planets. *Endeavour New Ser.*, 1991, no. 15 (3), pp. 107–114.

4. Rodionova Zh.F. Istoriya lunnykh kart [History of Lunar maps]. In: Surdin V.G. (editor) *Puteshestviya k Lune* [*Travels to the Moon*], Moscow, Phyzmatlit, 2019, pp. 193–235 (in Russian).

5. Spurr J.E. *Geology applied to selenology. Part I, II*. Lancaster, Pennsylvania, 1945, 318 p.

6. Spurr J.E. *Geology applied to selenology. Part III*. Lancaster, Pennsylvania, 1949, 253 p.

7. Khabakov A.V. *Ob osnovnykh voprosakh istorii razvitiya poverkhnosti Luny* [*On main issues of the history of evolution of the lunar surface*]. Moscow, State publishing house of geographical literature, 1949, 195 p. (in Russian).

8. Baldwin R.B. *The Face of the Moon*. Chicago, Univ. Chicago Press, 1949. 239 p.

9. Baldwin R.B. *The Measure of the Moon*. Chicago, Univ. Chicago Press, 1963. 488 p.

10. Barabashov N.P., Mikhailov A.A., Lipskii Yu.N. *Atlas obratnoi storony Luny* [*Atlas of the far side of the Moon*]. Moscow, Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1960, 169 p. (in Russian).

11. Lipsky Yu.N. (editor) *Atlas obratnoj storony Luny* [*Atlas of the far side of the Moon*]. Part 2. Moscow, Nauka, 1967, 236 p. (in Russian).

12. Barsukov V.L. (editor) *Lunnyi grunt iz Morya Krizisov* [*Moon soil from the Sea of Crises*]. Moscow, Nauka, 1980, 360 p. (in Russian).

13. SAI Moscow State University, Survey Service of the USSR, Lipsky Yu.N. (editor) *Polnaya karta Luny, 1:5 000 000* [*Full map of the Moon, 1:5 000 000*]. Moscow, Nauka, 1967, 1969, 1979 (in Russian).

14. Chikmachev V.I. Puteshestviya k Lune s teleskopom [Travel to the Moon with a Telescope]. In: Surdin V.G. (ed.) *Puteshestviya k Lune* [*Travels to the Moon*], Moscow, Phyzmatlit, 2019, pp. 89–175 (in Russian).

15. SAI MSU, TsNIIGAiK, Lipsky Yu.N. (editor) *Karta zony ekvatorial'noi oblasti vidimogo polushariya Luny, 1:1 000 000* [*Map of the zone of the equatorial region of the visible hemisphere of the Moon, 1:1 000 000*]. Moscow, Nauka, 1968 (in Russian).

16. Rodionova Zh.F. Space achievements and Maps and Globus of planets. *Geodesy and Cartography*, 1991, no. 7, pp. 15–22.

17. Shevchenko V.V., Rodionova Zh.F., Michael G.G. *Lunar and planetary cartography in Russia*. Heidelberg, Springer, 2016, 145 p.

18. LPI Lunar map catalog. Lunar and Planetary Institute, 2015. Available at: http://www.lpi.usra.edu/resources/mapcatalog/ (accessed 20.07.2022).

19. Hargitai H. *Catalog of planetary maps*. 2018. Available at: https://www.europlanet-society.org/european-planetary-mapping-a-worldwide-historical-view-of-our-solar-system/ (accessed 18.08.2022).

20. Egorov V. *Lyudi na Lune. Glavnye otvety* [*People on the Moon. Main answers*]. Edited by V.G. Surdin. *Moscow, Alpina non-fiction, 2020, 432 p*. (in Russian).

21. Grishakina E.A., Rodionova Zh.F., Shevchenko V.V., Slyuta E.N. *Obzornaya karta Luny. 1:13 000 000* [*Overview moon map. 1:13 000 000*]. Moscow: SAI MGU, Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, 2018, 2021 (in Russian).

22. Nass A., Hargitai H. Participants and initiatives in planetary cartography. In: Hargitai H. (editor) *Planetary Cartography and GIS*. Cham, Springer Nature, 2019, pp. 355–374. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62849-3 (accessed 20.07.2022).

23. Tanaka K.L., Skinner J.A. Jr., Hare T.M. *Planetary geologic mapping handbook*. Flagstaff, USGS, 2011.

24. Grishakina E.A., Lazarev E.N., Rodionova Zh.F., Shevchenko V.V. *Gipsometricheskaya karta Luny* [*Hypsometric map of the Moon*]. Moscow, SAI MSU, MIIGAiK, 2014 (in Russian).

25. Bolshakov V.D., Marov M.Ya., Bugaevskiy L.M., Shingareva K.B., Krasnopevtseva B.V., et al. *Atlas planet zemnoi gruppy i ikh sputnikov* [*Atlas of planets of the terrestrial group and their satellites*]. Moscow, MIIGAiK, 1992, 208 p. (in Russian).

26. Berlyant A.M. Integration of cartography and geoinformatics. Trends of the 90s. *Geodesy and Cartography*, 1991, no. 7, pp. 37–41.

27. Tikunov V.S. Some theoretical trends in cartography. *Geodesy and Cartography*, 1991, no. 7, pp. 32–36.

28. Hare T.M., Tanaka K.L. Planetary interactive GIS-on-the-web analyzable database (PIGWAD). *20th International cartography conference (ICC)*, August 6–10, 2001, Beijing, China.

29. Hare T.M., Kirk R.L., et al. Chapter 60: Extraterrestrial GIS. In: *Manual of geographic information systems*. The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, 2009, pp. 1199–1219.

30. Nass A., Hargitai H., Buchroithner M. Cartography: its role and interdisciplinary character in planetary science. In: *Planetary Cartography and GIS*. Cham: Springer Nature, 2019, pp. 3–26. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62849-3 (accessed 20.07.2022).

31. Spudis P.D. *The value of the Moon*. Washington, DC, Smithsonian Books, 2019, 243 p.

32. Pieters C.M., Goswami J.N., Clark R.N., Annadurai M., Boardman J., Buratti B., Combe J.P., Dyar M.D., Green R., Head J.W., Hibbitts C., Hicks M., Isaacson P., Klima R., Kramer G., et al. Character and spatial distribution of OH/H_2O on the surface of the Moon seen by M^3 on Chandrayaan-1. Science, 2009, vol. 326, pp. 568–582.

33. Spudis P.D., Bussey D.B.J., Baloga S.M., Cahill J.T.S., Glaze L.S., Patterson G.W., Raney R.K., Thompson T.W., Thomson B.J., Ustinov E.A. Evidence for water ice on the Moon: Results for anomalous polar craters from the LRO Mini-RF imaging radar. *J.G.R. Planets*, 2013, vol. 118, pp. 2016–2029.

34. *Chandrayaan-2 Mission ISRO*. Available at: www.isro.gov.in (accessed 20.07.2022).

35. Litvak M.L., Mitrofanov I.G, Sanin A.B., Golovin D.V., Malakhov A.V., Boynton W.V., Droege G.F., Harshman K., Starr R.D., Milikh G., Sagdeev R. LEND neutron data processing for the mapping of the Moon. *J. Geophys. Planets*, 2012, vol. 117, № E00H32. Available at: https://doi.org/10.1029/2011JE004035 (accessed 20.07.2022).

36. Barker M.K., Mazarico E., Neumann G.A., Zuber M.T., Haruyama J., Smith D.E. A new lunar digital elevation model from the Lunar Orbiter Laser Altimeter and SELENE Terrain Camera. *Icarus*, 2016, vol. 273, pp. 346–355.

37. Pugacheva S.G., Rodionova Zh.F., Skobeleva T.P., Feoktistova E.A., Shevchenko V.V. *Naimenovaniya form rel'efa Luny* [*Names of the landforms of the Moon*]. Moscow, OneBook, 2022, 144 p. (in Russian).

38. Lipskii Yu.N., Rodionova Zh.F. Kartometricheskie issledovaniya vidimoi i obratnoi storony Luny [Cartometric studies of the visible and far side of the Moon]. In: *Atlas obratnoi storony Luny* [*Atlas of the far side of the Moon*]. Part 3. Moscow, Nauka, 1975, pp. 110–122 (in Russian).

39. Shevchenko V.V. *Sovremennaya selenografiya* [*Modern selenography*]. Moscow, Nauka, 1980, 288 p. (in Russian).

40. Rodionova Zh.F., Zharkova A.Yu., Grishakina E.A., Shevchenko V.V. Topographic features of the Lunar maria and basins. *Solar System Research*, 2021, vol. 55, no. 3, pp. 183–199 (in Russian).

41. Qian Y., Xiao L., James W., Head J.W., van der Bogert C.H., Hiesinger H., Wilson L. Young lunar mare basalts in the "Chang'e 5" sample return region, northern Oceanus Procellarum. *Earth and Planetary Science Letters*, 2021, vol. 555, 116702. Available at: https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116702 (accessed 20.07.2022).

42. Marov M.Ya., Slyuta E.N. Early steps toward the Lunar base deployment: Some prospects. *Acta Astronautica*, 2021, vol. 181, pp. 28–39.

43. Leslie M. A Chinese lander explores the far side of the Moon. *Engineering*, 2019, no. 5, pp. 598–599.

44. Marinin I. God do zapuska [A year before launch]. *Russian space*, 2020, no. 8, pp. 38–41 (in Russian).

45. Slyuta E.N., Vysochkin V.V., Ivanov V.V., Makovchuk V.Yu., Nazarov A.I., Pogonin V.I., Roskina E.G., Safronov V.V., Tatsiy L.P. Pribor "METEOR-L" na lunnom orbital'nom apparate "Luna-26": detektor kosmicheskoi pyli [Instrument "METEOR-L" on the lunar orbiter "Luna-26": detector of cosmic dust]. *Solar System Research*, 2021, vol. 55, no. 5, pp. 444–453 (in Russian).

46. Slyuta E.N., Marov M.Ya., Dunchenko A.G., Makovchuk V.Yu., Morozov O.V., Nazarov A.I., Ivanov V.V., Pogonin V.I., Roskina E.G., Safronov V.V., Kharlov B.N., Tatsiy L.P. Eksperiment TERMO-LR na posadochnom apparate "Luna-27": izuchenie teplofizicheskikh, fiziko-mekhanicheskikh i elektromagnitnykh svoistv lunnogo grunta [THERMO-LR experiment on the Luna-27 lander: Study of thermophysical, physical-mechanical and electromagnetic properties of the Moon soil]. *Solar System Research*, 2021, vol. 55, no. 5, pp. 454–475 (in Russian).

47. Slyuta E.N. The scientific tasks of the Luna-Grunt project (Luna-28). *8th Moscow Solar System symposium*, 2017, pp. 247–249.

48. Slyuta E.N. The Luna program. In: Longobardo. A. (editor) *Sample Return Missions. The Last Frontier of Solar System Exploration*. Amsterdam, Elsevier, 2021, pp. 37–78.

49. Leonard D. *Could weird Lunar swirls help people settle the Moon?* 2019. Available at: https://www.space.com/mysterious-moon-swirls-resource-potential.html (accessed 18.08.2022).