ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫСАДКИ АМЕРИКАНСКИХ АСТРОНАВТОВ НА ЛУНУ: РАЗОБЛАЧЕНИЕ МИФОВ С ПОМОЩЬЮ РОССИЙСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ*

Высадка американских астронавтов на Луну в рамках программы «Аполлон» (1961–1972) остается одним из значимых и обсуждаемых событий XX века. Несмотря на множество подтверждений и научных доказательств, вокруг лунных миссий до сих пор возникают конспирологические теории, утверждающие, что посадка была сфальсифицирована.

Одна из наиболее стойких теорий «лунного заговора» гласит, что видеозаписи высадок были инсценированы в павильоне киностудии под руководством режиссера Стэнли Кубрика. Сторонники также ссылаются на визуальные «несостыковки» в фото- и видеоматериалах. Так, они утверждают, что американский флаг, установленный на Луне, колышется, что невозможно в условиях безвоздушного пространства. Другим популярным аргументом является наблюдаемая высота прыжков астронавтов — скептики считают, что она слишком мала для лунной гравитации и указывает на съемки в условиях земного притяжения. Кроме того, высказывается версия, что вместо пилотируемых модулей на Луну могли высаживаться беспилотные зонды, способные ретранслировать заранее подготовленные телеметрические данные и радиопереговоры, а также установить отражатели, до сих пор используемые в научных работах по локации Луны.

Тем не менее, научное сообщество — как международное, так и российское — давно признает факт лунных миссий. В числе тех, кто опровергал сомнения в подлинности американской лунной программы, был и космонавт Алексей Леонов, который участвовал в подготовке по лунно-облетной и лунно-посадочной программам СССР. В 2009 г. в интервью РИА Новости А. Леонов отметил, что американские астронавты действительно побывали на Луне, а распространенные версии о «съемках в Голливуде» не соответствуют действительности (*https://ria.ru/20090720/177908258.html*). В 2024 г. глава Госкорпорации «Роскосмос» Юрий Борисов в ходе выступления на «Правительственном часе» в Государственной думе ФС РФ также подтвердил факт высадки астронавтов США на поверхность Луны (*https://www.gazeta.ru/science/news/2024/07/03/23381107.shtml*). Часть лунного грунта, переданного американцами советской стороне после экспедиций, была изучена специалистами Академии наук СССР, и его происхождение с естественного спутника Земли подтвердилось.

Несмотря на наличие обширных эмпирических и документальных данных, конспирологические версии продолжают циркулировать в общественном пространстве. Такие представления во многом связаны не с объективными противоречиями в материалах, а с ограниченной доступностью научно обоснованной и наглядной информации для широкой аудитории и недостаточной критической оценкой недостоверных источников.

В этой ситуации особую ценность приобретают современные методы независимой проверки архивных данных, которые позволяют объективно подтвердить ключевые элементы миссий.

Одним из таких инструментов является **фотограмметрия**. В данной статье ставится цель провести объективный анализ результатов трех из шести состоявшихся пилотируемых высадок на Луну — «Аполлон-11» (1969 г.), «Аполлон-15» (1971 г.) и «Аполлон-17» (1972 г.) — с использованием современных фотограмметрических технологий, в частности программного обеспечения (ПО) Agisoft Metashape.

* Статья подготовлена пресс-службой ГК «Геоскан».

Современные технологии анализа исторических фотоматериалов

Фотограмметрия — это метод, который позволяет создавать точные трехмерные модели объектов на основе фотографий. Программа находит на снимках одинаковые участки, сделанные с разных ракурсов, и рассчитывает, где именно находилась камера в момент съемки. Это помогает восстановить форму и размеры объектов в пространстве с высокой точностью и без необходимости прямых измерений.

При изучении архивных материалов лунных миссий фотограмметрический метод позволяет точно воссоздать фрагменты поверхности Луны, оценить масштаб объектов, проверить параметры посадочных модулей, а также верифицировать положение отражателей и других приборов, развернутых экипажами программы «Аполлон». Такой подход дает возможность проводить объективный анализ, используя только исходные изображения.

Agisoft Metashape — это универсальное программное обеспечение для обработки снимков с различных оптических и мультиспектральных систем и создания цифровых моделей трехмерных объектов. Высокая точность итоговых моделей достигается благодаря внедрению методов машинного обучения на этапах обработки данных.

1. *Определение положения камер*. После загрузки набора фотографий программа автоматически вычисляет ориентацию и координаты каждой камеры, формируя исходное «облако связующих точек». Этот этап обеспечивает основу для последующих расчетов и исключает необходимость ручной калибровки.

2. *Построение плотного облака точек*. На базе рассчитанных положений программой генерируется плотное облако точек, отражающее форму и масштаб объектов. Инструменты фильтрации и классификации позволяют удалять шум и разделять данные по заданным критериям, что особенно важно при анализе фрагментов лунных снимков.

3. *Формирование полигональной модели*. Из плотного облака точек строится полигональная сетка двумя основными методами: «Карта высот» для рельефа и «Произвольный» для любых поверхностей. Полученную модель можно скорректировать внутри программы или экспортировать для дальнейшего использования в сторонних САПР и ГИС.

4. *Генерация текстур*. Функция автоматической оценки качества изображений повышает четкость и реалистичность текстурных карт. Это позволяет визуализировать поверхность с высоким уровнем детализации и сохранять истинную цветопередачу оригинальных кадров.

Кроме трехмерных объектов, Agisoft Metashape позволяет получать геопривязанные ортофотопланы и цифровые модели рельефа. Эти данные находят широкое применение в задачах исследования небесных тел: от планирования космических миссий и точного выбора посадочных площадок до геоморфологического и геологического анализа поверхности. Высокоточные модели позволяют проводить навигацию и автономное управление подвижными объектами, а также сравнивать ландшафты различных планет и спутников. Помимо этого, фотограмметрические данные интегрируются в ГИС и научные базы, используются для долгосрочного мониторинга изменений на поверхности и создания визуализаций, симуляций и обучающих материалов, что делает их ценным ресурсом для междисциплинарных исследований.

Методология исследования фотографий Луны

Съемка на поверхности Луны сопровождается рядом уникальных условий, которые значительно отличаются от земных и требуют специального учета как при проведении съемки, так и при визуальном анализе полученных материалов. Эти особенности касаются освещенности, гравитации, отсутствия плотной атмосферы, а также структуры и рельефа лунной поверхности [1].

Освещенность и отсутствие атмосферы

Луна не имеет плотной атмосферы, которая бы рассеивала солнечный свет, как это происходит на Земле. Из-за этого светотеневые переходы на лунной поверхности гораздо резче, а тени — более контрастные и резкие по очертанию. В то же время объекты в тени могут быть различимы благодаря отраженному свету от лунного грунта или скафандров.

Освещенность Луны определяется циклом дня и ночи, каждый из которых длится около 14 земных суток. Это приводит к медленным изменениям освещения, что особенно важно учитывать при панорамной съемке. Кроме того, на участках Луны, обращенных к Земле, дополнительное освещение создается за счет отраженного от Земли света, тогда как на обратной стороне освещенность обеспечивается только звездами.

Интересной особенностью лунной топографии являются так называемые «пики вечного света» — участки вблизи полюсов Луны, которые освещаются почти круглый год. Противоположным явлением являются зоны «вечной темноты», расположенные в глубинах кратеров, куда солнечный свет практически не попадает.

Влияние гравитации и рельефа

Гравитация на Луне составляет около одной шестой земной. Это влияет как на движения астронавтов, так и на поведение частиц пыли при съемке и посадке. Например, лунная пыль, будучи очень мелкой и липкой, может долго оставаться во взвешенном состоянии и оседать на оптические приборы, что создает дополнительные сложности при съемке.

Форма Луны отличается от идеальной сферы, а ее рельеф может быть крайне разнообразным. В экваториальных районах преобладают равнины (моря, покрытые базальтовой лавой), тогда как приполярные регионы характеризуются сложной структурой — высокими горами, каньонами, лавовыми пещерами. Масштабность этих образований может искажать визуальное восприятие расстояний на снимках, особенно при отсутствии объектов известного размера для ориентировки.

Лунный горизонт из-за меньшего радиуса Луны виден ближе, чем земной: для человека ростом около 1,75 м он составляет около 2,5 км против 4,7 км на Земле. Это ограничивает охват при пейзажной съемке и влияет на перспективу на фотоснимках.

Поверхность и микрорельеф

Поверхность Луны покрыта реголитом и обломками пород, среди которых встречаются камни высотой до 10–15 м. Из-за их низкого контраста и особенностей освещения обнаружение таких объектов возможно, как правило, по отбрасываемым ими теням, особенно при низком положении Солнца над горизонтом. Местность также может содержать так называемые масконы — области с повышенной концентрацией массы, влияющие на гравитационное поле и полеты космических аппаратов.

Цвет лунной поверхности в целом серо-пепельный, без ярко выраженных оттенков. Цветовые различия трудно уловимы глазом, поэтому для съемки на Луне предпочтительнее использовать цифровые черно-белые камеры с высоким динамическим диапазоном, позволяющим лучше фиксировать переходы яркости.

Все перечисленные особенности лунной среды — от особенностей освещенности до микрорельефа — оказывают прямое влияние на визуальные материалы, полученные в ходе пилотируемых миссий. Их учет необходим для корректного анализа изображений и построения трехмерных моделей на основе фотоснимков.

Для фотограмметрического исследования лунных миссий ученые опираются на обширный архив фотоизображений [2] и видеозаписей [3], сделанных астронавтами во время экспедиций. Эти материалы, размещенные в открытом доступе на сайте NASA, позволяют выполнять измерения и реконструировать особенности лунного рельефа. В данной статье рассматриваются миссии «Аполлон-11», «Аполлон-15» и «Аполлон-17», а также результаты анализов, выполненных с применением фотограмметрического метода. Использованные в ходе этих экспедиций наборы камер, объективов и типов пленки отличались. Ниже представлены основные технические характеристики фотосъемочного оборудования, примененного в рамках указанных миссий.

Оборудование для фото- и видеосъемки во время миссии «Аполон-11» [4] включало стандартные телевизионные и кинокамеры, а также три модифицированных фотоаппарата Hasselblad 500EL, специально адаптированных для работы в условиях вакуума и экстремальных температур. Два из них были аналогичны тем, что использовались ранее в орбитальных миссиях «Аполлон-8», «Аполлон-9» и «Аполлон-10»: каждый комплектовался объективом Zeiss Planar 80 мм f/2,8, а телесъемку дополнял телеобъектив Zeiss Sonnar 250 мм f/5,6. Третья камера, Hasselblad 500EL Data Camera, предназначалась для съемки на поверхности Луны и отличалась рядом конструктивных доработок:

— Reseau-пластина: тонкая стеклянная пластина, установленная непосредственно перед пленкой, с сеткой крестов (шаг 10 мм, точность ±0,002 мм), которые служат средством определения угловых расстояний между объектами, находящимися в поле зрения;

— объектив Zeiss Biogon 60 мм f/5,6: специально разработан для NASA, прошел комплексную калибровку; снабжен съемным поляризационным фильтром;

— серебряное покрытие корпуса и двух запасных магазинов для термостабильности; магазины оснащены кольцами для крепления страховочных шнуров при передаче между астронавтами;

— антистатическая система: тонкое проводящее напыление на Reseau-пластине и контактные пружины отводят статический заряд, предотвращая искровые пробои на пленке.

Во всех трех камерах Hasselblad 500EL использовалась пленка Kodak 70 мм со специальной тонкой основой и эмульсией, двойной перфорацией и емкостью до 160 цветных или 200 черно-белых кадров на загрузку.

Экспедиция «Аполлон-15» впервые вывезла на Луну мобильный ровер с установленной телекамерой (рис. 1), что позволило астронавтам исследовать район Моря Дождей на дистан-

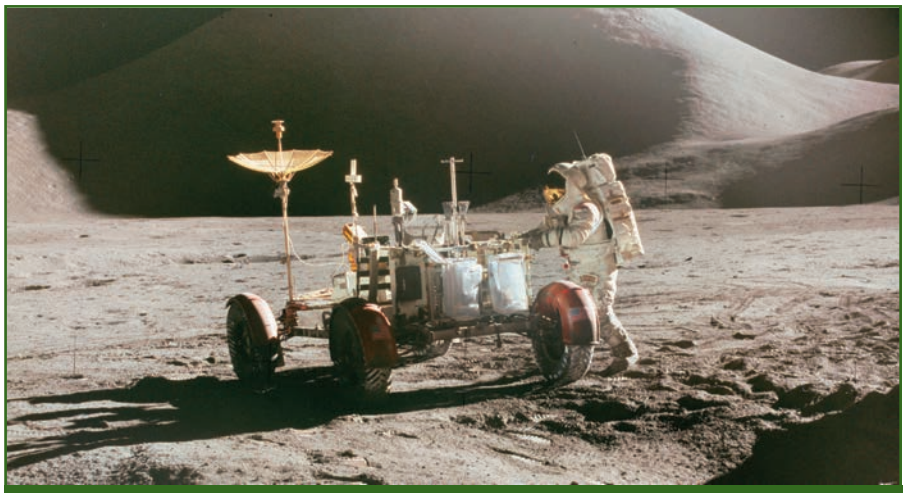

Рис. 1
Миссия «Аполлон-15». Джеймс Ирвин рядом с мобильным ровером. Источник — https://www.flickr.com

циях до 27 км и собирать образцы реголита [5]. Для документирования выездов применялись три модифицированные камеры Hasselblad Data Camera с Reseau-пластинами: две с объективами Zeiss Biogon 60 мм f/5,6 для общей съемки и одна с телеобъективом 500 мм для крупномасштабных деталей. Камеры крепились к скафандрам астронавтов на уровне груди.

Дополняла их 16-мм камера Maurer Data Acquisition Camera с 10-мм объективом и поляризационным фильтром, который мог вести как автоматическую (1–12 к/с), так и ручную (24 к/с) съемку. Телевизионная RCA-камера обеспечивала живые трансляции, управляемые астронавтами и дистанционно из Центра управления полетами, с возможностью панорамирования, изменения диафрагмы (f/2,2–f/22) и зума.

В орбитальной части миссии в SIM-отсеке работали Fairchild Mapping Camera для создания карт высот с 78% перекрытием, Stellar Camera для навигации по звездам и Itek Optical-Bar Panoramic Camera с 610 мм объективом и компенсацией движения. Эта связка приборов обеспечила метрически точные изображения лунного рельефа.

В рамках миссии «Аполлон-17» целью было получение картографических и панорамных снимков высокого разрешения, фиксация астрономических явлений, а также документирование работы экипажа как на орбите, так и на поверхности Луны в районе долины Таурус-Литтров. Для достижения этих задач использовался широкий набор фотокамер и специально подобранных фотоматериалов, обеспечивавших точность, глубину и разнообразие изображений [6].

На борту командного модуля использовалась 70-мм камера Hasselblad EL с электрическим приводом для взвода затвора и перемотки пленки и объективами 80 мм и 250 мм. В зависимости от задач применялись разные пленки: цветная Ektachrome MS (ASA 64) для панорамных съемок и черно-белая высокочувствительная 2485 (ASA 6000) для съемки при слабом освещении. Камера использовалась для съемки лунной поверхности, астрономических объектов и Земли с различных расстояний. Также применялась механическая 35-мм камера Nikon с 55-мм объективом для съемки в условиях низкой освещенности. Дополняла их 16-мм камера для сбора данных с переменной частотой кадров и сменными объективами (10, 18, 75 мм), которая фиксировала как внутренние, так и внешние операции, включая маневры с лунным модулем.

Особое значение для топографического анализа имели картографическая и панорамная камеры, размещенные в научном модуле. Картографическая камера с 76-мм объективом обеспечивала 74° поле зрения и делала снимки с 78% продольным перекрытием. Это позволило получать стереопары, по которым можно было точно определить рельеф и координаты объектов. Панорамная камера с 610-мм объективом создавала изображения с перекрытием до 100% между парами кадров, обеспечивая стереоскопический эффект и покрытие полосы шириной до 330 км вдоль трассы полета. Эти данные позволяют с высокой точностью реконструировать геометрию поверхности и создавать топографические карты Луны.

На лунной поверхности и в лунном модуле основным средством съемки служили две камеры Hasselblad DC с электрическим приводом и объективами 60 мм и 500 мм. В них использовали цветную пленку Ektachrome MS и черно-белую Plus-X (AEI 64) для детального документирования геологических исследований, образцов и экспериментов. Камеры оснащались Reseau-пластинами, обеспечивающими метрическую точность изображений. Для записи видеоматериалов применялась 16-мм камера для сбора данных с 10 мм объективом, установленная у правого окна лунного модуля, что позволяло снимать посадку, взлет и взаимодействие с командным модулем.

Фотоматериалы, полученные в ходе лунных миссий, могут быть эффективно использова-

ны для построения трехмерных моделей ландшафта и геопривязанных ортофотопланов с помощью ПО Agisoft Metashape. В программе реализована возможность автоматического сопоставления изображений, формирования облака точек, построения цифровой модели рельефа и генерации текстурированных моделей с высокой степенью детализации.

Для проведения анализа в Agisoft Metashape необходимо подготовить серию перекрывающихся изображений, желательно — с известными параметрами съемки, такими как фокусное расстояние, тип камеры и условия освещения. Благодаря информации о технических характеристиках камер и пленок, использованных в миссиях «Аполлон-11», «Аполлон-15» и «Аполлон-17», можно задать точные параметры внутренней и внешней ориентации изображений, что повышает точность моделирования. Кроме того, для калибровки камер астронавты использовали специальные калибровочные планшеты (рис. 2), с помощью которых можно восстановить реальный цвет и контрастность исходных снимков, что особенно важно при фотограмметрической реконструкции. Полученные материалы могут использоваться для геоморфологического анализа, оценки масштаба объектов, виртуальных реконструкций и визуализаций, а также для образовательных и научных целей, связанных с исследованием лунной поверхности.

Результаты фотограмметрического анализа

Фотограмметрический метод широко использовался для исследования лунных экспедиций. В ходе анализа первой высадки на Луну ученые В.В. Пустынский и Э.М. Джонс на основе 116 снимков с поверхности и пяти из окон лунного модуля определили точные координаты точек фотографирования, оборудования и природных объектов [7]. Основное внимание уделялось точному картографированию района посадки и уточнению расстояний до размещенной аппаратуры.

Полученные данные оказались значительно точнее предыдущих: ошибка в определении расстояний до приборов EASEP снижена до 0,1 м. Сопоставление с орбитальными снимками LROC подтвердило высокую точность карты, на которую нанесены более 50 валунов и 70 кратеров. Новая карта района базы «Спокойствие» оказалась более точной и подробной, чем предыдущие карты 1969 и 1978 гг. В ней отражены новые точки фотографирования, углы съемки, а также уточнено положение научных приборов. Работа демонстрирует возможности использования фотограмметрического метода в сочетании с орбитальными данными для навигации и картографирования будущих миссий.

При анализе материалов экспедиции «Аполлон-15» специалисты Геоскана использовали фотографии метрической съемки с орбиты Луны и видеозапись с бортовой камеры, установленной на лунном модуле [8]. Обработка данных в ПО Agisoft Metashape позволила достичь сразу нескольких результатов. На основе орбитальных снимков были построены высокоточные 3D-модели района посадки лунного модуля в окрестностях Хэдли-Апеннин [9]. Дополнительно цифровые копии поверхности, полученные по видеосеквенции, позволили определить дистанцию, пройденную модулем за 8 минут, — около 336 км, а также рассчитать его среднюю скорость — порядка 2500 км/ч. В результате анализа была также определена траектория взлета

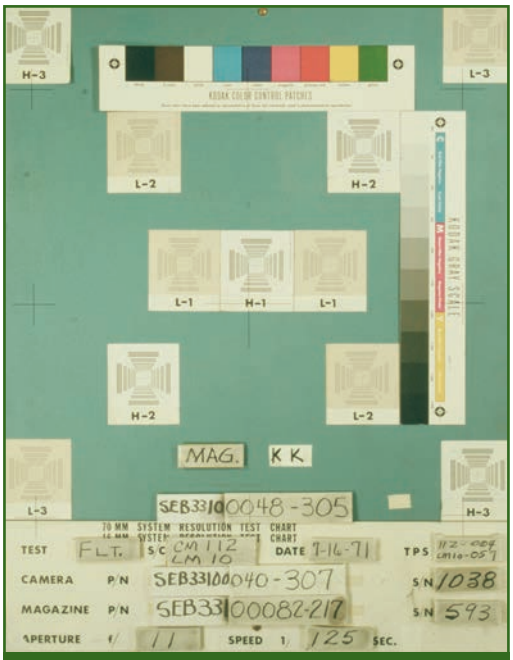

Рис. 2
Пример калибровочного планшета

по рассчитанным позициям кадров видеоряда.

В ходе миссии «Аполлон-17» астронавты исследовали долину Таурус-Литтров, уделив особое внимание Станции 6 — геологическому участку у подножия Северного массива. Для фотограмметрического анализа этой зоны в статье [10] исследователями были использованы 154 цифровых изображения, сделанных астронавтами во время третьего выхода на поверхность. С помощью метода Structure from Motion (SfM) ученые построили фотограмметрическую 3D-модель района, позволившую точно определить положение астронавтов и реконструировать форму и ориентацию трех главных валунов.

Дополнительно была выполнена реконструкция образцов лунных пород, собранных на Станции 6. Используя архивные стереофотографии, сделанные в 1970-х гг., ученые воссоздали 3D-модели четырех образцов, некоторые из которых со временем были утрачены в оригинальном виде. Для наглядной

визуализации следующей геологической остановки астронавтов — Станции 7 — специалисты Геоскана воссоздали цифровые копии лунных валунов этой локации в ПО Agisoft Metashape, которые доступны для просмотра и анализа (рис. 3) [9].

Кроме того, в том же программном обеспечении были построены высокоточные модели лунных кратеров Циолковский, Мессье, Менделеев, Гагарин, Дедал и Кинг (рис. 4) [9] на основе снимков миссий «Аполлон-11», «Аполлон-15», «Аполлон-16» и «Аполлон-17». Эти реконструкции кратеров представляют собой ценный источник для изучения рельефа, позволяя оценить соотношение размеров и степень сохранности, а также служат дополнительным инструментом для планирования будущих экспедиций.

Все полученные модели — от образцов пород и лунных валунов до крупных кратерных структур — применимы в научных исследованиях и образовательных целях, включая виртуальную реальность. Они демонстрируют потенциал фотограмметрии как универсального метода документирования и анализа геологических объектов в рамках последующих лунных миссий.

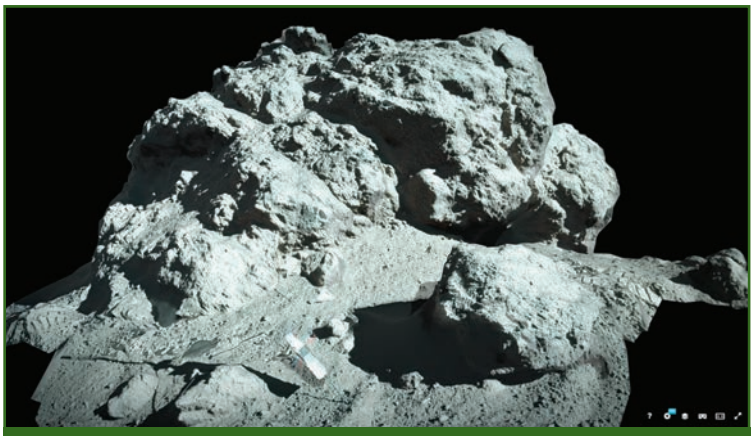

Рис. 3
3D-модель лунного валуна «Валун 1», созданная с помощью ПО Agisoft Metashape

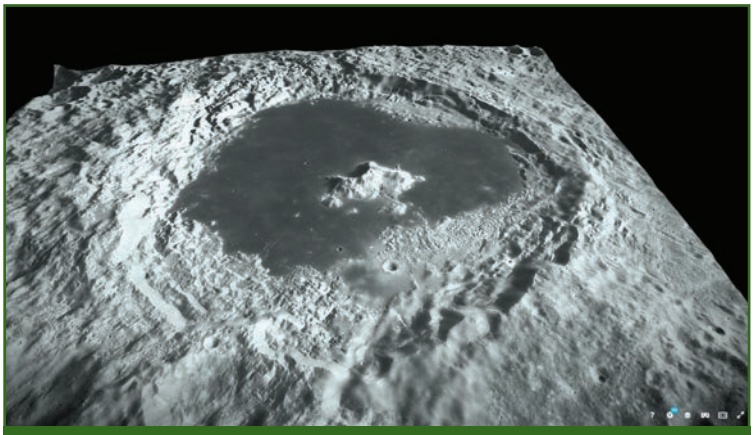

Рис. 4
3D-модель лунного кратера Циолковский, созданная с помощью ПО Agisoft Metashape

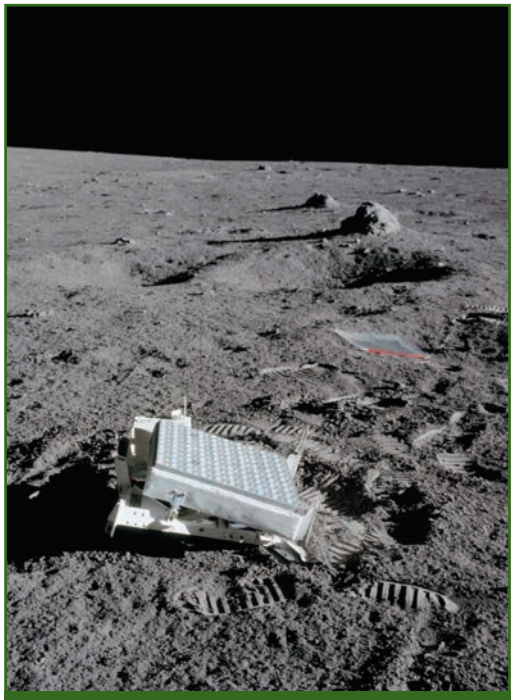

Рис. 5
Уголковый отражатель на поверхности Луны

Вышеописанные результаты подтверждают подлинность фото- и видеоматериалов, полученных в ходе лунных экспедиций. Фальсификация такого объема изображений с соблюдением фотограмметрической точности была бы невозможна в условиях технологических ограничений киноиндустрии 1960-х гг. Технологий, способных сгенерировать достоверную трехмерную модель лунной поверхности с учетом освещения, перспективы и физических параметров объектов, тогда не существовало.

Дополнительным доказательством подлинности миссий являются установленные на Луне зеркальные уголковые отражатели (рис. 5), используемые для лазерной локации. Эти приборы, доставленные астронавтами миссий «Аполлон», функционируют до сих пор и позволяют точно измерять расстояние от Земли до Луны. Их наличие и работа подтверждаются независимыми измерениями, проводимыми научными учреждениями разных стран.

Ответы на популярные аргументы конспирологов

«Развевающийся» флаг

Сторонники «лунного заговора» часто указывают на «колыхания» американского флага после установки на лунной поверхности — признаки ветра в безвоздушном пространстве. Однако движение флага могло быть вызвано затухающими колебаниями, которые возникли из-за упругости ткани и особенностей установки.

Флаг крепили на телескопической перекладине, прижимаемой к древку во время транспортировки, и при разворачивании жесткая сетка внутри полотнища деформировалась в условиях низкой гравитации. Получившаяся «рябь» медленно затухала, создавая иллюзию колыханий на ветру. При отсутствии атмосферы в вакууме трение воздуха не гасит вибрации так быстро, как на Земле, поэтому колебания сохраняются дольше.

Дополнительно следует отметить, что флаг, ставший объектом многочисленных споров, был заснят под разными углами в ходе фотосъемки. При фотограмметрическом анализе эти снимки были совмещены в 3D-модель (рис. 6) [9]. Полученное облако точек демонстрирует, что его форма оставалась неизменной при перемещении камеры. Если бы флаг действительно развевался на ветру, как утверждают сторонники теории заговора, его положение и изгибы различались бы от кадра к кадру и точная трехмерная стыковка была бы невозможна. Это служит еще одним доказательством физической стабильности объекта и отсутствия атмосферы.

Рис. 6
3D-модель астронавта Юджина Сернана и американского флага, созданная с помощью ПО Agisoft Metashape

Отсутствие звезд на фотографиях

Статичные звезды на лунных снимках отсутствуют не из-за монтажа, а по причине физических особенностей съемки. Камеры американских астронавтов были настроены на яркую лунную поверхность и скафандры, обладающие высокой отражательной способностью. Звезды, светящиеся очень слабо на фоне яркой поверхности, в полученных снимках не попадают в динамический диапазон экспозиции. Аналогичный эффект можно наблюдать на Земле: на закатных фотографиях неба на фоне освещенных зданий звезды также остаются незаметными.

Анализ теней и направления освещения

Критика фотографий астронавтов иногда указывает на «пересекающиеся» или «рассогласованные» тени, якобы доказывающие множественные источники света или монтаж. На Луне Солнце выступает почти точечным источником света, а отсутствие атмосферы исключает его рассеяние, поэтому тени получаются резкими и четкими. Вместе с тем их направление и «разветвленность» объясняются рельефом: неровности поверхности сами создают локальные отражения, которые заполняют тени и изменяют их очертания. Лунный реголит отражает около 5–18% света, что дополнительно подсвечивает теневые участки. Кроме того, широкоугольные объективы камер программы «Аполлон» и близкое расстояние до объектов вносят искажения перспективы, из-за чего тени могут казаться идущими в разных направлениях, хотя фактически все соответствует физике освещения в вакууме.

Анализ лунных камней

Лунные образцы грунта и обломки пород, доставленные на Землю в ходе миссий «Аполлон», неоднократно анализировались в лабораториях по всему миру. Современные методы позволяют не просто исследовать отдельные фрагменты под микроскопом, но и восстанавливать их полные трехмерные формы. Например, с использованием архивных фотографий исследователи создали доступные для свободного изучения 3D-модели образцов лунных камней [11]. Эти цифровые копии не только помогают подтверждать их внеземное происхождение, но и дают возможность детально исследовать поверхностную текстуру и морфологию образцов, а также сравнивать их форму с аналогичными структурами земных пород.

Использование фотограмметрии для исследования космических объектов

Фотограмметрия находит широкое применение не только для ретроспективного анализа исторических снимков, но и в ходе современных космических программ. Один из примеров — трехмерная реконструкция кометы 67P/Чурюмова — Герасименко по данным автоматической миссии Rosetta. На основе серии снимков с борта аппарата была получена высокоточная 3D-модель — 132 млн полигонов [12]. Такая детализация позволила выявить глубокие полости до 47 м в теле кометы и установить связь их инсоляции с активностью кометы. Дальнейшее термическое моделирование подтвердило потенциал полостей как «окон» в недра кометы.

Фотограмметрический метод использовался также для трехмерной реконструкции обнажения Мон-Мерку на Марсе. Целью миссии являлось улучшение геологического анализа и картографирования на основе данных камеры Mastcam марсохода Curiosity. Детализированные 3D-модели позволили выявить стратиграфические слои и геологические особенности, ранее не видимые на отдельных изображениях [13].

Эти и другие примеры [14, 15] демонстрируют, что интеграция фотограмметрии и результатов современных миссий существенно расширяет возможности по исследованию рельефа, состава и динамики планет и космических объектов.

Таким образом, современные цифровые методы, такие как фотограмметрия и трехмерное моделирование, открывают новые возможности для независимой проверки исторических космических миссий, позволяя наглядно воссоздавать и анализировать реальные материалы с высокой точностью. На примере ПО Agisoft Metashape было показано, как российские разработки в сочетании с международными данными обеспечивают надежную оценку ключевых этапов лунных экспедиций и одновременно служат инструментом для исследования других космических объектов и планет.

В этом контексте особенно важна работа по развитию отечественных технологий. Геоскан совместно с ведущими российскими научными организациями приступает к реализации проекта по детальной съемке поверхностей Луны и Марса. Цель проекта — создать высокоточные цифровые модели, а также наглядно продемонстрировать потенциал отечественных технологий для проведения межпланетных миссий с применением малых космических аппаратов в интересах фундаментальной науки.

Список литературы

1. Жуков В.М. Анализ условий, особенностей и способов выполнения операций визуально-инструментального наблюдения и фотосъемки на Луне // Пилотируемые полеты в космос. — 2021. — № 2 (39). — С. 111–131.

2. Библиотека фотоизображений лунных миссий, которая содержит все снимки, сделанные астронавтами на поверхности Луны, снимки, сделанные во время предполетной подготовки, а также фотографии оборудования и аппаратуры для полета. — https://www.nasa.gov/history/alsj/picture.html.

3. Библиотека видеозаписей, которые были сделаны в ходе лунных миссий. — https://www.nasa.gov/history/alsj/alsj-video.html.

4. Parker P. Apollo-11 Hasselblad cameras. — https://www.nasa.gov/history/alsj/a11/a11-hass.html.

5. Apollo 15 Lunar photograph. — https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/alsj/a15/Apollo15LunarPhotogrphyNSSCD70-07.pdf.

6. Apollo 17 Preliminary Science Report. — https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/static/history/alsj/a17/as17psr.pdf.

7. Pustynski V.-V., Jones E.M. Photogrammetry of Apollo 11 surface imagery. — https://www.resear-chgate.net/publication/292242285_Photogrammetry_of_Apollo_11_surface_imagery.

8. Видеозапись с бортовой камеры, установленной на лунном модуле «Аполлон-15». — https://www.youtube.com/watch?v=GLLP6bzNJwo.

9. Галерея 3D-моделей, созданных с помощью ПО Agisoft Metashape. — https://sketchfab.com/agisoft/collections/space-de2a-35b3252f46189deb1698fc116060.

10. Photogrammetric 3D reconstruction of Apollo 17 Station 6: From boulders to lunar rock samples integrated into virtual reality. Le Mouélic, S., Guenneguez, M., Schmitt, H.H., Macquet, L., Mangold, N., Caravaca, G., Seignovert, B., Le Menn, E., Lenta, L. — https://hal.science/hal-04300110/file/LeMouelic_PSS2023_CorrectedProof_v2.pdf.

11. 3D-модели коллекции образцов лунных камней, собранных в ходе миссий «Аполлон». — https://sketchfab.com/Astromaterials3D/collections/apollo-lunar-collection-92fa531378984564acd23a-9d92cf5370.

12. 3D-модель кометы 67P/Чурюмова — Герасименко по данным автоматической миссии Rosetta. — https://sketchfab.com/3d-models/rolis-67p-touchdown-aee65-a4dc9fa476dbb5a1cbaeebcb9fa.

13. Панорамы обнажения Мон-Мерку на Марсе. — https://science.nasa.gov/resource/curiositys-3d-view-of-mont-mercou.

14. Ромеф Д. Metashape в космосе, пример с кометой 67P Чурюмова — Герасименко. — https://www.geoscan.ru/ru/blog/metashape-v-kosmose-primer-s-kometoy-67p-churyumova-gerasimenko.

15. Шмаус С., Ле Мюлик С., Мангольд Н., Кавалье Л., Сеньовер Б., Каравака Г. Фотограмметрическая обработка изображений MSL: исследование на примере обнажения горы Мон-Мерку в кратере Гейла на Марсе. — https://www.geoscan.ru/ru/blog/fotogrammetricheskaya-obrabotka-izobrazheniy-msl-issledovaniye-na-primere-obnazheniya-gory-merku-v-kratere-geyla-na-marse.