

"Это была ознакомительная экскурсия. Нашей целью был обзор поверхности скорее для планирования будущих исследований, чем для выполнения их самими. Ряд мест был обследован и рекомендован для выбора наиболее подходящего места раскопок."

Дж. Уиндхем, "Последние лунарии"

Археологическая разведка Луны: результаты проекта SAAM

А.В. Архипов

(rai@ira.kharkov.ua)

Радиоастрономический институт НАН Украины

(Материалы конференции "SETI-XXI")

На актуальность поиска древних внеземных артефактов на поверхностях небесных тел указывали многие авторы (например: А.Кларк, И.С.Шкловский, К.Саган, Дж.В.Фостер, А.Р.Фрейтас, М.Дж.Карлотто, Д.Л.Холмс). В 1992-2000 гг. автором осуществлена попытка археологической разведки Луны как стратегически важного тела в околоземном пространстве (проект SAAM - Search for Alien Artifacts on the Moon). Главная цель исследования состояла в разработке методики поиска кандидатов в археологические объекты Луны и составлении каталога наиболее интересных районов и объектов для последующего изучения *in situ*. Предложен и реализован ряд алгоритмов для автоматизированного компьютерного поиска необычных, прямоугольных деталей на снимках лунной поверхности камерой высокого разрешения КА "Клементина". В результате сканирования ~80 тысяч снимков полярных областей Луны составлен банк данных для 128 снимков с подозрительными объектами. Морфологический анализ позволяет выделить три основные группы находок: а) локальные скопления депрессий, упорядоченных в квазипрямоугольные решетки, и расположенные на равнинных участках лунной поверхности; б) квазипрямоугольные узоры из узких линеаментов (низких гряд, уступов и мелких трещин), расположенные на возвышенностях; в) четырехугольные холмы с провалами на вершинах, окруженные депрессиями с плоским дном и прямоугольными очертаниями. Наложение круглых воронок и локальность таких формаций позволяют сомневаться в традиционном объяснении любых прямоугольных деталей Луны сетью тектонических разрывов, контролирующей форму ударных разрушений поверхности. Предпринята попытка составления эволюционных последовательностей снимков однотипных прямоугольных формаций, находящихся на различных стадиях разрушения. Эти последовательности интерпретируются как постепенное обрушение неких подповерхностных пустот, имеющих прямоугольные очертания и иногда расположенных в два яруса. С помощью специального алгоритма выявлено существование на Луне малозаметных локальных узоров, состоящих из очень низких гряд прямоугольных очертаний. Возможно, так проявляются еще неразрушенные пустоты, либо мы видим конечную стадию их разрушения, засыпанную реголитом. Дальнейший прогресс космических исследований, несомненно, будет подпитывать общественный интерес к внеземной археологии. Поэтому дискуссия о возможных археологических объектах на Луне представляется неизбежной.

1. Введение

Идея лунной археологии обсуждалась задолго до эпохи космических полетов. Еще в 1930-х годах Дж. Уиндхем (псевдоним Дж. Бейнон) написал рассказ "Последние лунарии" - научно-фантастический отчет об археологической экспедиции на Луну [1]. В 1948 г. Артур Кларк в рассказе "Часовой" описал находку на Луне чужого артефакта, оставленного визитерами со звезд

еще до появления человечества на Земле. При этом А.Кларку уже полвека назад было ясно, что для такого открытия "ученый должен не бояться прослыть дураком и обсудить абсурдные предположения" [2]. Понятно почему идея исследования Луны ради внеземных артефактов не пользуется популярностью у современных селенологов. Однако, аномальные детали лунной поверхности нуждаются в изучении независимо от их интерпретации. Рано или поздно, но археологический облик нашего спутника будет выяснен, особенно в процессе неизбежной колонизации Луны.

Ранее было показано [3, 4], что Луна может быть использована в качестве индикатора внеземных визитов в Солнечную систему. К сожалению, обнаружение инопланетных артефактов на Луне находится вне интересов большинства селенологов из-за их ориентации на изучение естественных формаций и процессов. Эта задача также не интересует подавляющее большинство археологов, поскольку археология до сих пор остается по сути на до-Коперниканских, геоцентрических позициях. Действительно, в качестве арены археологических исследований принято рассматривать исключительно Землю, рассматривая ее в полной изоляции от других культур Галактики.

В 1992 году был начат авторский проект Search for Alien Artifacts on the Moon (SAAM) - первая попытка археологической разведки Луны. Обоснование лунного SETI, формулировка специфических принципов лунной археологии и выбор наиболее интересных районов на спутнике составили первую фазу проекта (1992-95). Предварительные результаты исследований [5] показали, что поиск чужих артефактов на Луне является многообещающей стратегией SETI, особенно в контексте планов по освоению спутника. Целью второй фазы SAAM (1996-2001) был поиск перспективных объектов для археологических исследований. Эта вторая стадия проекта включала в себя: а) разработку новых алгоритмов для археологической разведки космическими средствами; б) использование этих алгоритмов для выделения кандидатов в археологические памятники Луны; в) изучение реакции "большой" науки на это направление исследований.

2. Методология

Принято считать, что поиски чужих артефактов на Луне не нужны, поскольку их там нет. При этом мы попадаем в заикленный логический тупик: нет находок, следовательно нет поисков, следовательно нет находок, и так далее. Разорвать этот порочный круг и призван проект SAAM. Дистанционные методы зондирования Земли с успехом применялись для археологических исследований нашей планеты. Достаточно ли только такой техники для обнаружения искусственных сооружений на Луне и других планетах? Вряд ли, если планетологи мыслят только категориями естественных формаций. Например, крепость-храм Кой-Крылган-кала древнего Хорезма (Узбекистан, IV в. до н.э. - I в. н.э.) выглядела как типичный ударный кратер до раскопок 1956 года (Рис.1). Среди множества кратеров Луны Кой-Крылган-кала была бы просто незаметна для планетологов.

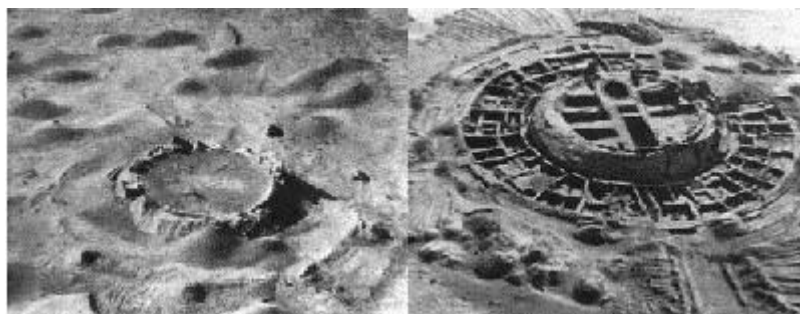


Рис. 1. Древнехорезмская крепость Кой-Крылган-кала выглядит как ударный кратер на аэрофотоснимке (слева); ее искусственность очевидна лишь после раскопок 1956 года (справа) [6].

В отличие от планетологической презумпции естественности (считается что все детали поверхности небесных тел естественны), в основе практики археологов лежит априорное допущение возможности существования артефактов. Если мы примем эту возможность, то тогда можно распространить критерии поиска, предложенные К.Саганом для Земли [7], к другим планетам:

"Представим фоторазведку Земли в отраженном видимом свете, выполняемую с борта орбитального космического аппарата. Мы считаем что мы компетентны в геологии, но не имеем априорной информации об обитаемости Земли. Фотографии Земли при разрешении на поверхности вплоть до 1 км показывают много деталей интересных с точки зрения геологии и метеорологии, но ничего биологического. При разрешении в 1 км даже при очень хорошем контрасте нет признаков жизни, разумной или иной, в Вашингтоне, Лондоне, Париже, Москве или Пекине. Мы обследовали многие тысячи фотографий Земли при этом разрешении с отрицательными результатами. Однако, когда разрешение улучшено приблизительно до 100 м, несколько сотен фотографий 10x10 км оказались подходящими для обнаружения земной цивилизации. Узоры выявляемые при разрешении 100 м являются сельскохозяйственным или городским преобразованием земной поверхности в прямоугольные решетки ... Эти узоры было бы крайне трудно понять в геологическом смысле даже на планете обильно покрытой разломами... И именно это отклонение от термодинамического равновесия привлекает наше внимание к таким фотографиям."

В 1962 году К.Саган говорил о возможности открытия чужих артефактов на Луне, отмечая что "грядущая фоторазведка Луны с космических аппаратов - особенно ее обратной стороны - должна предусмотреть эту возможность" [8]. Прямоугольные узоры на аэрофотоснимках принято рассматривать как признаки культуры при дистанционном зондировании Земли или в воздушной археологии [9]. При этом представляется разумным искать прямоугольные узоры и на Луне. Например, допустим, что аналог проектируемой современной лунной базы был построен на Луне очень давно (например, 1-4 миллиарда лет назад). Такие сооружения должны были бы сооружаться под поверхностью для защиты от ионизирующих излучений и метеороидов. Теперь эти древние структуры должны выглядеть как эродированные системы низких гребней и депрессий, покрытых реголитом и кратерами (Рис.2).

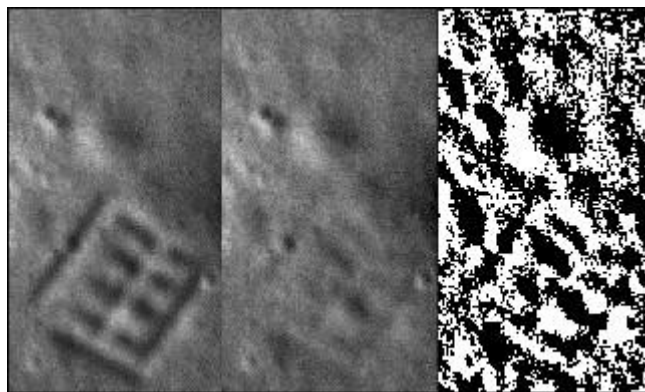


Рис. 2. Моделирование вероятного вида древнего поселения на Луне, снятого камерой HIRES космической станции "Клементина" (слева). Эрозия стирает следы конструкции на поверхности (центр), но обработка снимка фильтром SAAM выявляет прямоугольную аномалию (справа).

Множество лунных изображений, сделанных космическим зондом "Клементина", доступны в цифровой форме [10]. Предыдущие исследования по лунному SETI [11] использовали изображения камеры ультрафиолетового и видимого диапазонов (UVVIS). Разрешение изображений UVVIS составляет порядка 200 метров. Согласно критерию обнаружения,

использованному Саганом, это разрешение недостаточно даже для обнаружения нашей собственной цивилизации на Земле. Так даже пирамида Хеопса целиком поместилась бы в одном пикселе изображения. Исследования Луны при этом разрешении, по-видимому, не выявит убедительных доказательств существования искусственных структур. С другой стороны, камера высокого разрешения (HIRES) "Клементины" создала изображения подходящего разрешения (9-27 м), но они гораздо более многочисленны (~ 600,000 изображений) и поэтому в основном неисследованы. Следующая секция обсуждает алгоритмы для автоматического сканирования большого числа HIRES-изображений с целью поиска потенциальных артефактов.

3. Алгоритмы

3.1 Предварительный фрактальный тест

Как правило, структура естественных ландшафтов само-подобна в большом диапазоне размеров. Например, лунные кратеры с поперечниками от 10^{-1} м до 10^4 м имеют почти одинаковую форму. В отличие от само-подобных естественных ландшафтов, структура искусственных объектов выражена в более узком диапазоне размеров. Следовательно, возможные артефакты на изображении должны проявляться как аномалии в распределении пространственных деталей по размерам. В поиске таких аномалий и заключается смысл фрактального метода М.Стейна и М.Карлотто [12, 13]. К сожалению, их метод требует слишком много вычислений для обработки всех подходящих HIRES-изображений (~80,000).

Поэтому для той же цели использовался альтернативный, более простой алгоритм. Пусть $M(r)$ есть распределение вероятности расстояний между локальными минимумами яркости вдоль горизонтальной строки изображения. Таким образом $M(r)$ описывает распределение деталей изображения по размерам. На больших шкалах эту функцию можно аппроксимировать степенной функцией, характерной для фракталов: (1)

$$M(r) \propto r^\nu$$

Поскольку искусственные объекты имеют некий характерный размер, их присутствие должно увеличить среднеквадратичное отклонение $M(r)$ от степенного закона, выражаемого линейной регрессией: (2)

$$\log M(r) = \nu \log r + C,$$

где C является константой. Согласно эмпирическим результатам, $M(r)$ у HIRES-изображений может быть аппроксимировано степенной функцией при $r > 4$ пикселей. Регрессия вычисляется при $4 < r < 31$ пиксел (т.е. в диапазоне размеров от 50 до 900м).

Изображение разбивается на $K=12$ квадратов по 96×96 пикселей каждый. В каждой такой области методом наименьших квадратов вычисляется наилучшие параметры степенной функции, и находится среднеквадратичное отклонение от нее: (3)

$$\sigma_k^2 = \frac{g_k}{N} \sum_{i=1}^N [\log M(r_i) - \nu \log r_i - C]^2,$$

где k - номер квадрата изображения; g_k - множитель, компенсирующий вариации чувствительности сенсора в различных частях изображения; N - число размеров (шкал). Средняя дисперсия оценивается по этим региональным среднеквадратичным отклонениям.

Анализ 733 HIRES-изображений, полученных через светофильтр на 0.75 микрона с орбит 112-115 (от полюсов вплоть до широт 75 градусов), показал что региональные среднеквадратичные отклонения распределяются по закону Гаусса. Согласно критерию Стьюдента для K=12 оценок, если в каком-либо квадрате выполняется неравенство

$$(\sigma_k - \langle \sigma \rangle) > 1.796 \sqrt{\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (\sigma_k - \langle \sigma \rangle)^2},$$

эту область можно считать статистически аномальной с вероятностью 0,95.

3.2 Детальный фрактальный тест

Модифицированная версия фрактального метода Стейна использовалась для более детального исследования. Сперва диапазон яркости HIRES-изображения линейно увеличивался до 256 градаций. Затем изображение рассматривалось в трехмерном пространстве как поверхность яркости (x и y - координаты пиксела, а z - яркость). Метод Стейна можно представить себе как описывание вокруг такой поверхности элементарных объемов. Эти элементарные объемы являются кубами с длиной ребра 2r, где r является шкалой (размером), выраженной в пикселах или в градациях яркости. Пусть V(r) есть средняя величина минимального объема из таких элементов, заключающего в себе поверхность яркости в окрестности некой точки. Тогда площадь такого объема есть A(r) = V(r)/2r. Как функция шкалы, A(r) характеризует распределение деталей изображения по размерам. Присущая фракталам линейная зависимость log A(r) от log r является хорошей аппроксимацией для природных ландшафтов. Однако, как правило, фракталы не аппроксимируют искусственные объекты. Вот почему Стейн использовал среднеквадратичное отклонение от регрессии (5)

$$\log A(r) = \beta \log r + \gamma,$$

как меру искусственности. К сожалению, квадратичные невязки зависят от числа пикселей в изображении. Следовательно, трудно сравнивать изображения с различными размерами. Кроме того, тени увеличивают невязки и генерируют ложные обнаружения. Но автору удалось решить эти проблемы путем использования нелинейной регрессии: (6)

$$\log A(r) = \alpha (\log r)^2 + \beta \log r + \gamma,$$

где "параметр искусственности" alpha уже не зависит от размера изображения и по-разному реагирует на тени и аномальные детали рельефа.

Рис.3 изображает параметр alpha случайного набора HIRES-изображений, представляющего естественный лунный фон (кресты), и фрагментов изображений, содержащих аномальные объекты (квадраты). Наличие теней приводит к положительным величинам параметра alpha, а аномальные объекты имеют отрицательные alpha. При том же зенитном угле Солнца, Zsun аномальные формации имеют систематически более низкие значения alpha, чем случайный набор HIRES-изображений. Средняя линейная регрессия, связывающая alpha случайного набора и Zsun показана пунктирной линией, вокруг которой разбросаны кресты с дисперсией 0,0113. Понижение alpha на 3 среднеквадратичных отклонения (сплошная линия) принято в качестве критерия для отбора кандидатов в артефакты.

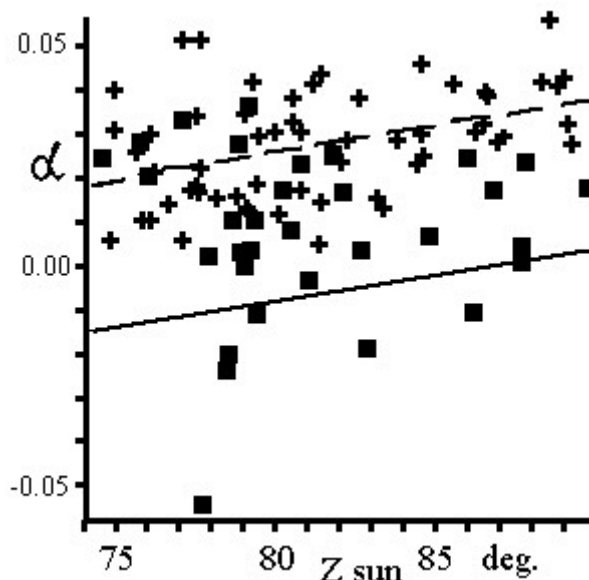


Рис. 3. Отбор лунных деталей на основании "параметра искусственности" α

3.3 Прямоугольный тест

Прямоугольный тест выявляет прямоугольные узоры на лунной поверхности. При этом для каждого пиксела изображения выбирается "пробный" пиксел, смещенный на 6 пикселей в направлении заданном позиционным углом. Пусть N есть полное число пар пикселей, а n - число пар, в которых яркости пикселей равны. Функция (7)

$$W(\varphi) = n/N,$$

описывает анизотропию изображения, характеризуемую позиционным углом смещения. Для компенсации искажений, вносимых камерой и компрессией файла, при каждом значении позиционного угла эта функция делится на ее калибровочное значение, полученное усреднением по множеству изображений. Скорректированная функция сглаживается, и находятся позиционные углы, соответствующие максимумам функции. Эти углы описывают ориентацию разных групп линейных деталей. Если имеется различие выявленных направлений на 90 ± 10 градусов, то изображение считается интересным.

3.4 SAAM-преобразование

Для отсева ложных обнаружений использовался визуальный контроль изображений, подвергнутых SAAM-преобразованию с целью визуализации скрытых деталей изображения (Fig. 2). Это преобразование заключается в сглаживании изображения скользящим круглым окном с радиусом R и последующем вычитании результата из исходного изображения. Пиксел более яркий, чем сглаженный уровень (положительная разность), считается "белым"; другие пикселы считаются "черными". Такое клиппирование помогает видеть детали как низкого, так и высокого контраста. Кроме того, большие детали (большие чем R) подавляются и не мешают изучать мелкомасштабную структуру изображения.

3.5 Алгоритм СХЕМА

Алгоритм СХЕМА выявляет локальные неровности лунного рельефа. Он обнаруживает локальные максимумы высоты лунной поверхности. Яркость "горизонтального" участка поверхности на вершине находится как средняя яркость изображения в круглом окне, описанном вокруг исследуемого пиксела с радиусом 15 пикселей. В направлении солнечного освещения выделяется

цепочка из 5 пикселей, центрированная на исследуемый пиксел. Методом наименьших квадратов находится линейная зависимость между положением пикселя в цепочке и его яркостью. С помощью этой зависимости находится расчетное положение пикселя с яркостью "горизонтального" участка, лежащего на вершине. Вычисленный пиксел наносится на схему черной точкой. Эта операция повторяется для всех пикселей изображения. Сглаживание по пяти точкам позволяет выявлять детали, которые незаметны даже на SAAM-изображениях, но при этом теряется разрешение. Поэтому CXEMA и SAAM-алгоритм не дублируют, а дополняют друг друга. Пример работы алгоритма CXEMA показан на Рис.4.

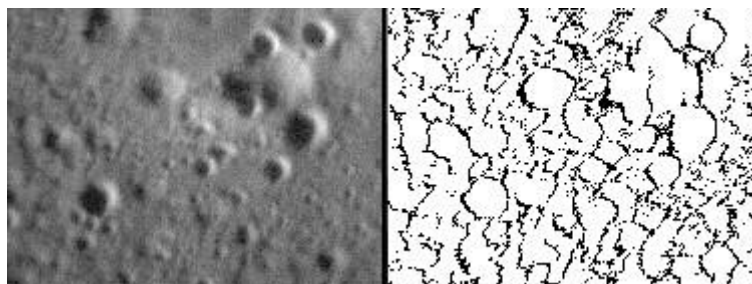


Рис. 4. HRES-изображение LHD0331A.062 (слева) и схема локальных возвышенностей, выявленных алгоритмом CXEMA.

3.6 Геологический тест

И.Фибаг считал, что когда объект параллелен линейным деталям окружающей местности, он скорее всего естественен [14]. Хотя активность людей зачастую коррелирует с геологическими особенностями местности (например с реками), консервативный тест Фибага применялся к лунным находкам.

Ориентация линейных деталей окрестности оценивалась методом вышеописанного прямоугольного теста, который применялся к снимкам камеры ультрафиолетового и видимого диапазонов (UVVIS). UVVIS-изображение охватывает в 196 раз большую площадь, чем камера HRES, при том же 0.75мк-фильтре. Учитывались только те пики плотности вероятности (см. уравнение 7), у которых статистическая значимость составляла более 0,9. При этом объект считался неинтересным, если одно из двух направлений прямоугольной формации на HRES-снимке отклонялось менее чем на 10 градусов от значимого направления соответствующего UVVIS-изображения. Этот тест не прошли 60% находок.

4. Находки

4.1 Каталог

Для составления каталога перспективных объектов использовались только полярные HRES-изображения, запечатлевшие лунную поверхность на широтах от 75 град. до 90 град. при низких углах освещения, хорошо подчеркивавших рельеф. При этом использовались вышеописанные тесты: предварительный фрактальный, прямоугольный, геологический и SAAM-фильтр. Кроме того использованы два дополнительных фильтра, описанных ниже.

1. Теневой фильтр применялся для уменьшения числа ложных обнаружений из-за слишком затененных изображений. Так если более 5% пикселей были темнее 10% амплитуды яркости снимка, то такое изображение игнорировалось. Игнорировались также файлы с размером менее 13 KB.

2. Фильтр FREX применялся для подавления оставшихся теневых помех. Его процедура заключалась в следующем: "параметр искусственности" (α) вычислялся, как описано в разделе 3.2, но при использовании лишь каждого пятого пиксела для ускорения анализа изображения. С помощью этого упрощенного алгоритма вычислена линейная зависимость параметра α случайного изображения от зенитного угла Солнца (регрессия α -Z). Если величина α у исследуемого изображения оказывалась меньше, чем следовало из упомянутой зависимости, на величину более $1/2$ среднеквадратичного отклонения, то такое изображение отбиралось для дальнейшего анализа.

Предварительный фрактальный тест, теневой фильтр, FREX и прямоугольный тест отбирали ~5% изображений. Отобранные файлы были обработаны SAAM-фильтром и проверены визуально. В результате этой процедуры около 97% находок были отсеяны. Оставшиеся 128 изображений помещены в каталог. Только 47 снимков из каталога выдержали геологический тест. Ориентация прямоугольных объектов на них отличалась на 10 град. и более от статистически значимых направлений линейных деталей окружающей местности. Наконец, только 18 из этих 47 изображений были отобраны как наиболее интересные, согласно полному фрактальному тесту. Их параметр α отклонялся более чем на 3 дисперсии от регрессии α -Z, построенной по сотне случайно выбранных снимков.

Наиболее интересные изображения перечислены в Табл. 1. (Полный список изображений приведен в Приложении А, где наиболее интересные снимки выделены жирным шрифтом) Находки в каталоге описаны как комплексы, состоящие из простых квази-прямоугольных элементов: депрессий (d), борозд (f), четырехугольных холмов (h), прямоугольных узоров из лунок (p), и гребней (r). Так аббревиатура "dr" в последней колонке обозначает систему из квази-прямоугольных депрессий и гребней. Этот метод описания удобен для морфологического анализа.

Таблица 1. Каталог наиболее интересных находок

Долгота [15] град.	Широта град.	Файл [16]	Элементы
20.03	-81.24	LHD0395A.160	p
28.35	79.10	LHD5502Q.290	f
31.21	78.82	LHD5256Q.293	d
53.95	-83.54	LHD0287A.146	rd
179.43	89.72	LHD5696R.248	fp
191.54	83.21	LHD5416R.230	r
192.83	-81.40	LHD0096A.230	dr
192.90	-76.89	LHD0392B.097	f
232.01	-76.20	LHD0210B.215	f
246.08	81.88	LHD7638R.343	fh
250.58	-85.48	LHD0193A.073	r
261.17	86.87	LHD5466R.208	dr
266.18	-83.86	LHD0278A.068	r
269.63	85.11	LHD5650R.072	d
272.70	82.72	LHD5562R.202	r
300.02	79.68	LHD5345Q.059	hd
301.28	85.55	LHD6749R.318	r
306.10	-77.54	LHD0387B.055	dr

Что же касается менее интересных изображений, заметим что активность людей иногда коррелирует с геологическими формациями (например с долинами и разломами, трассируемыми реками и месторождениями полезных ископаемых). Вот почему отрицательный результат геологического теста необязательно указывает на естественность объекта. Аналогично, эродированный объект покрыт слоем реголита и имеет пониженный контраст на снимке сделанном с орбиты. Соответственно, его фрактальные свойства могут не сильно отличаться от фона. Поэтому фрактальные тесты имеют тенденцию недооценивать ценность находок. По этим причинам все находки, перечисленные в каталоге (и особенно в Табл. 1), потенциально интересны для археологической разведки Луны.

4.2 Морфология

Есть два основных типа находок.

Квази-перпендикулярные узоры из депрессий ("вафельные узоры") - На этот тип приходится приблизительно 69% находок. Вафельный узор образован скоплением прямоугольных депрессий с прямоугольными грядами между ними. Пример такого узора показан на Рис.5. Вероятно, изолированная, одиночная прямоугольная депрессия может рассматриваться как предел формы такого типа. Более того, существуют переходные формы от прямоугольного узора из лунок к вафельным узорам. В каталоге вафельные узоры описаны как d, dr или p. Их характерный размер составляет 1-3 км. Размер отдельной депрессии в узоре составляет 0,1-2 км. Такие квази-прямоугольные узоры из депрессий располагаются на относительно ровных участках поверхности - на межкратерном пространстве или на дне крупных кратеров.

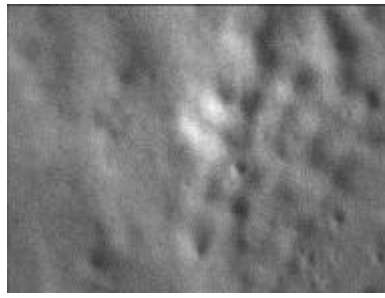


Рис. 5. Пример находки типа "вафельный узор" (изображение LHD5472Q.287).

Квази-прямоугольные решетки из линейных деталей ("решетки"). Они составляют около 30% находок. "Решетка" является комплексом переплетающихся, изломанных гряд и/или борозд, образующих квази-прямоугольный узор (Рис.6). Этот морфологический тип представлен в каталоге как комплексы из элементов *г* и/или *ф*, но без *д*. Эти линейные образования имеют характерную толщину порядка 50 м и покрывают территорию порядка одного квадратного километра. Решетки располагаются на склонах и вершинах холмов, где слой реголита тоньше всего. По-видимому, то что мы видим, является скорее подповерхностной структурой нежели некой самоорганизацией реголита.

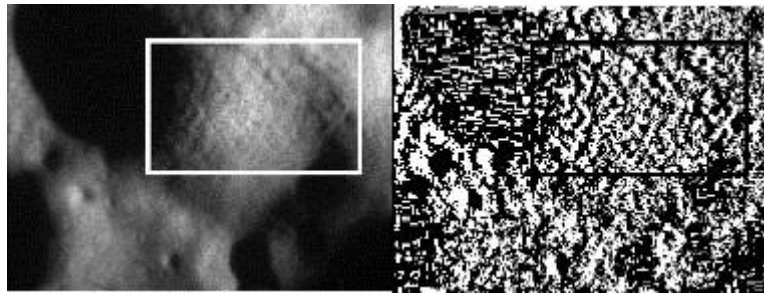


Рис. 6. Обработка снимка LHD5165R.171 алгоритмом SAAM выявляет решетчатый узор.

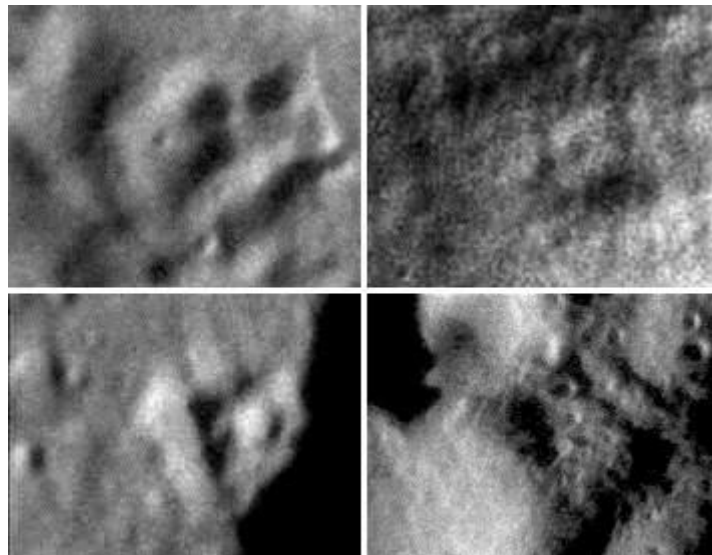


Рис. 7. Полые четырехугольные холмы с прямоугольными депрессиями вокруг них могли бы быть насыпными сооружениями Луны.

Кроме вафельных узоров и решеток, достойны отдельного описания и четырехугольные холмы (Рис.7). Они расположены в формациях обоих типов, описанных выше. Размеры таких холмов равны 0,3-1 км. Обычно на вершине четырехугольного холма имеется лунка. Иногда депрессия на вершине так велика, что холм выглядит полым. Депрессии вокруг таких возвышенностей являются редкостью для Луны, но обычны для искусственных насыпей Земли.

4.3 Интерпретации

Возможная эволюция аномальных структур со временем может быть визуализирована по имеющимся изображениям. Попытка реконструкции эволюции вафельных узоров показана на Рис.8. Простейшим и, вероятно, первой стадией эволюции является упорядоченный узор из небольших воронок (Рис.8а). Предположительно это могло бы быть результатом провала или дренажа реголита в подповерхностные пустоты. Расширяющиеся воронки приобретают угловатую форму. Затем между ними проявляется прямоугольная решетка из гряд (Рис.8а,b). Линейные детали, образующие прямоугольный контур вокруг формации (Рис.8с), демонстрируют правильную и локализованную структуру подповерхностных пустот. Система таких пустот видна после ее полного обрушения (Рис.8d). Провалы дна прямоугольных депрессий (Рис.8е) и террасы на их склонах [17] позволяют предположить существование пустот на нескольких уровнях.

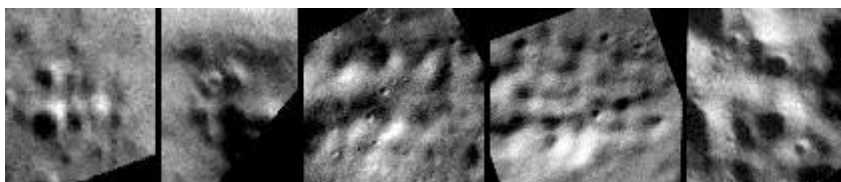


Рис. 8. Примеры вафельных узоров размещенных в эволюционном порядке слева направо: (a) LHD0316A.083, (b) LHD0470B.112, (c) LHD5443Q.291, (d) LHD5472Q.287, (e) LHD5661R.068.

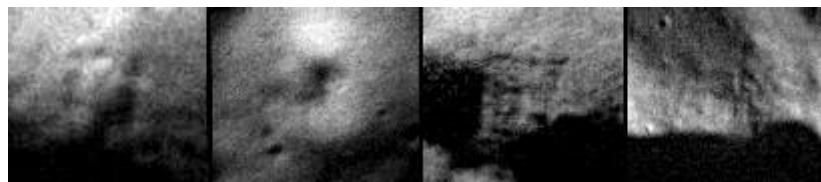


Рис. 9. Примеры решеток расположенные в порядке эволюции слева направо: (a) LHD0558B.072, (b) LHD5559Q.279, (c) LHD6749R.318, (d) LHD6158R.320.

Эволюция решеток может быть интерпретирована тоже как процесс эрозии (Рис.9). По-видимому, первой (простейшей) стадией формирования решетки является квази-прямоугольная система узких борозд-трещин (Рис.9а). Трещины расширяются (Рис.9b) и трансформируются в квази-прямоугольный узор из гряд и/или уступов (Рис.9с). Рис.9d демонстрирует четырехугольный холм вроде столовой горы, окруженный сложной системой гряд (контрастированы с помощью фильтра high-pass). По-видимому, такие гряды являются относительно более прочными участками местности.

Неповрежденные подповерхностные пустоты или очень эродированные вафельные узоры и решетки имеют низкий контраст на снимках и почти неразличимы. Но, некоторые прямоугольные узоры удается обнаружить с помощью алгоритма СХЕМА (Рис.10). Немногие их элементы видны на оригинальных изображениях. Например, решетчатая структура, обнаруженная в нижнем правом углу схемы на Рис.4, едва различима на исходном изображении.

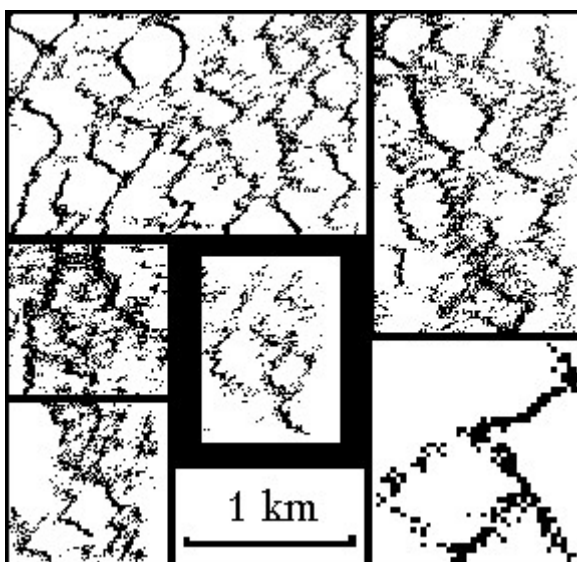


Рис. 10. Скрытые прямоугольные узоры на схемах локальных возвышенностей лунного рельефа (с HIRES-изображений: LHD0146A.210, LHD0331A.062, LHD0558B.072, LHD4691Q.253, LHD5243Q.208, LHD6158R.320).

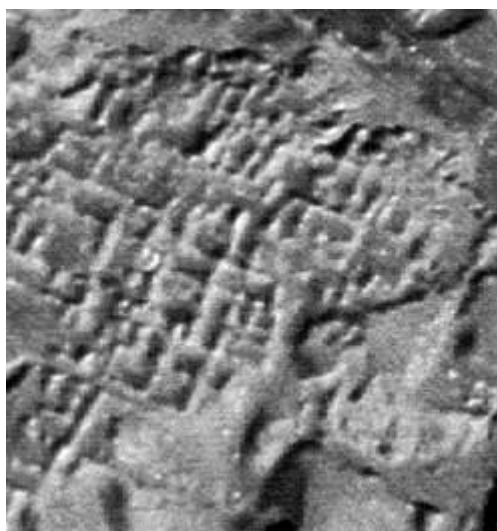


Рис. 11. Аэрофотоснимок руин древнеассирийской столицы Ашшура напоминает лунную решетчатую структуру, изображенную на Рис.6.

Эти прямоугольные системы депрессий и гряд напоминают руины. Например, узоры на Рис.6 и 10 сходны с древнеассирийскими руинами Ашшура [18] (Рис.11).

Для таких сравнений с помощью детального фрактального теста (см. раздел 3.2) вычислен "параметр искусственности" (α) в уравнении (6) для: случайного набора HIRES-изображений (MOON), наших находок (FINDS) и аэро-космических фотоснимков земных археологических объектов [19, 20] (ARCHAEOLOGY). Рис.12 демонстрирует гистограмму-результат. По-видимому, величины параметра α у лунных находок сдвинуты в сторону геологического фона из-за толстого слоя реголита, покрывающего аномальные объекты. Все же некоторые находки имеют те же значения "параметра искусственности" что и археологические объекты Земли.

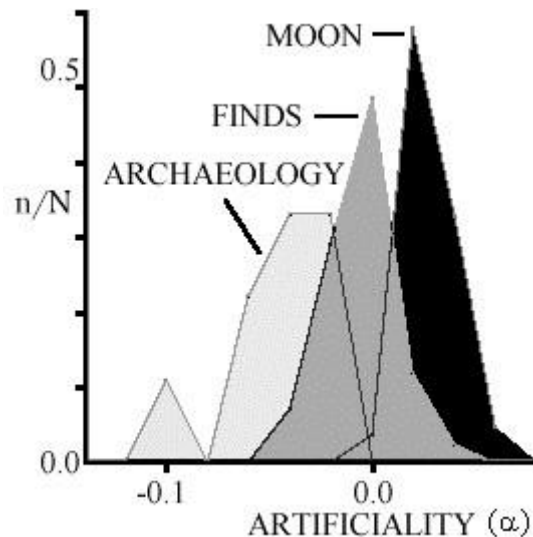


Рис. 12. "Параметр искусственности" (α) лунного фона (MOON), находок (FINDS) и археологических объектов Земли (ARCHAEOLOGY).

Геологи объясняют прямоугольные депрессии Луны разломами поверхности, которые существовали еще до ударного формирования кратеров. Мы же обнаружили компактные группы кратеров лунной поверхности, состоящие как из прямоугольных так и из круглых депрессий приблизительно одинаковых размеров (Рис.13). Очевидно, в этих случаях гипотетические разломы влияли на форму отнюдь не всех кратеров в группе. По-видимому, там действовал не один механизм образования депрессий. Вафельные узоры и решетки выглядят слишком локализованными и правильными по форме для тектонических образований или систем разломов, возникших от множества хаотических импактов. Эти доводы позволяют сомневаться в приемлемости традиционной геологической интерпретации для ВСЕХ прямоугольных формаций

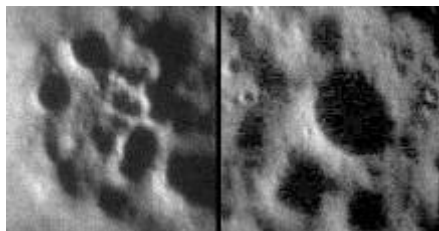


Рис. 13. Аргумент против геологических разломов: компактные группы соседствующих депрессий соизмеримых размеров, но прямоугольной и круглой форм (LHD5705R.282 и LHD5814R.295).

Прямоугольные узоры на лунной поверхности - следы подповерхностных сооружений - являются традиционным элементом современных проектов лунной базы [21, 22, 23]. Такие комплексы могли бы выглядеть как вафельные узоры или вышеупомянутые решетчатые структуры. Подповерхностные, прямоугольные, многоуровневые пещеры в геологии Луны неизвестны. Однако, они обычно присутствуют в современных проектах лунной базы наравне с полыми холмами (Рис.14). Поэтому четырехугольные, полые холмы, обнаруженные на Луне, также заслуживают внимания археологов.



Рис. 14. Современная концепция лунной базы с полым холмом. Сравните с Рис.7.

Разумеется некоторые, если не все, наши находки могут оказаться геологическими формациями. Но, возможность их археологической интерпретации так важна, что ее нелогично игнорировать а priori. В конце концов, только высадка людей на Луну и непосредственное исследование позволят определить являются ли эти объекты искусственными или естественными.

5. Научная реакция

Реакция "большой" науки на это исследование является, пожалуй, наиболее интересным результатом проекта. Существует парадоксальное противоречие между общественным интересом к проблеме и нежеланием научных учреждений выполнять какие-либо исследования по данной тематике. В результате идея поиска искусственных объектов на Луне была отдана "на откуп" сенсационной прессе, многократно профанировалась и дискредитировалась (см. коллекцию таких "исследований" в [24]). В то же время серьезная деятельность в этом направлении практически не представляла интереса для издателей как научных журналов, так и научно-популярных изданий.

Так в качестве эксперимента, сообщения о проекте SAAM направлялись в *Archeologia* (France), *Sky and Telescope* (USA), and *Spaceflight* (UK). Ответа не последовало. Неожиданно из *Scientific American* (USA) пришли ободряющие слова: "Я нашел интересной вашу дискуссию в последнем выпуске *META news*. Пожалуйста, держите меня в курсе ваших дальнейших исследований... Поиск таких артефактов определенно важен... По мере прогресса ваших и других исследований, мы можем пожелать получить статью об этих исследованиях." Но с тех пор все публикации *Scientific American* о SETI ограничивались исключительно поисками сигналов...

Переписка с научными журналами вполне анекдотична. Например, рецензент *Journal of the British Interplanetary Society* выразил, по-видимому, типичное неприятие уже самой задачи: "Может быть автору лучше сконцентрироваться на развитии его техники и написать статью об этом, нежели использовать ее для поиска руин на Луне?" К сожалению, археологические поиски выходят за рамки геологической практики планетологов. Вот почему даже дискуссия об археологической разведке Луны является табу для рецензентов ведущих астрономических журналов.

Особенно интересна реакция сообщества исследователей в области SETI. Ее квинтэссенцией можно считать ответ директора SETI Institute, д-ра С. Шостака: "Я полагаю, главной проблемой серьезных действий в этом направлении являются недостаток финансирования и приоритеты. Это,

увы, всегда остается проблемой для SETI, в которое по-прежнему вовлечено небольшое число исследователей, и они в настоящее время более расположены к поиску сигналов, чем к артефактам." Даже последователи Э. фон Даникина (*Ancient Astronauts Society and Archaeology, Astronautics & SETI Research Association*) игнорируют Луну.

Хотя SETI League, Society for Planetary SETI Research (SPSR), и SETI Center (Россия) поддержали проект SAAM, очень немногие ученые отваживались на поиски следов внеземного разума на ближайшем небесном теле.

В настоящее время среди планетологов и археологов практически отсутствует серьезный интерес к археологической разведке Луны (особенно после переориентации приоритетов НАСА на Марс). И все же, как показано выше, на Луне есть что изучать. Это обстоятельство оставляет надежду на возобновление дискуссии в будущем.

6. Выводы

Показано, что компьютеризированная археологическая разведка Луны осуществима. Предложенные и апробированные алгоритмы могут использоваться для более интенсивного археологического обзора Луны и других планет.

Обработано приблизительно 80 тыс. орбитальных изображений Луны, переданных космической станцией "Клементина", и отобран ряд квази-прямоугольных узоров, соответствующих критерию Сагана для обнаружения разумной деятельности на космических снимках. Морфологический анализ этих находок привел к реконструкции их эволюции как процесса эрозии. Можно реконструировать два возможных эволюционных сценария: 1) обрушение подповерхностных квази-прямоугольных комплексов пустот; 2) разрушение холмов с квази-прямоугольными решетками из линейных образований (линеаментов). Кроме того, наблюдались как бы насыпные четырехугольные и полые холмы с прямоугольными депрессиями вокруг.

Эти находки напоминают земные археологические объекты и современные проекты лунной базы. Они рекомендуются для дальнейших исследований *in situ* как возможные артефакты.

Составлен каталог объектов, перспективных для археологической разведки Луны. Независимо от того, искусственны они или нет, эти аномалии нуждаются в дальнейших исследованиях.

Современная наука и общество все еще не готовы к археологической разведке Луны. Тем не менее, дискуссия о лунной археологии, по-видимому, будет неизбежна в процессе колонизации нашего спутника.

Геологические интерпретации лунного рельефа хорошо известны, но AUDIATUR ET ALTERA PARS (следует выслушать и другую сторону).

Благодарности

Автор весьма признателен д.ф.-м.н. Ю.Г.Шкуратову за предоставленную возможность работать с архивом изображений КА "Клементина". Я также благодарен докторам M.Carlotto, J.Fiebag, T.Van Flandern и J.Strange за дискуссию и поддержку проекта SAAM.

Приложение: Полный каталог находок

Долгота [25] град.	Широта град.	Файл [26]	Элементы
11.05	89.16	LHD5814R.295	d
13.63	85.57	LHD5741R.295	d
16.08	-76.10	LHD0480B.030	f
20.03	-81.24	LHD0395A.160	p
20.69	-79.70	LHD0159B.293	dr
22.50	80.63	LHD5686R.160	r
25.38	75.50	LHB5443Q.291	prf
28.25	-76.50	LHD0132B.290	dr
28.35	79.10	LHD5502Q.290	f
31.16	80.78	LHD5833R.157	f
31.21	78.82	LHD5256Q.293	d
32.97	79.60	LHD5538Q.289	f
33.55	77.27	LHD5715Q.156	dr
33.57	77.05	LHD5713Q.156	dr
35.45	81.20	LHD5555R.289	rfd
37.00	77.58	LHD5472Q.287	pr
37.18	79.86	LHD5525Q.287	df
41.93	-82.88	LHD0280A.151	fd
43.09	86.94	LHD5724R.286	dr
44.05	-75.87	LHD0445B.151	r
51.34	-83.68	LHD0233A.147	f
53.95	-83.54	LHD0287A.146	rd
56.88	87.01	LHD5705R.282	dr
60.29	79.20	LHD5559Q.279	d
60.30	85.14	LHD5636R.280	p
108.97	-76.82	LHD0412B.127	rhf
109.85	-82.38	LHD0344A.126	d
113.40	82.50	LHD5350R.260	fdr

123.50	86.07	LHD5652R.126	df
124.55	-82.47	LHD0282A.121	d
128.05	80.00	LHD5375R.254	?
128.25	-78.26	LHD0162B.253	f
128.41	-76.13	LHD0191B.253	r
128.83	82.91	LHD5459R.254	dr
130.26	-82.91	LHD0073A.252	d
130.33	-82.75	LHD0274A.119	rp
130.52	79.32	LHD4691Q.253	pf
130.71	80.68	LHD4722R.253	dr
131.20	-78.77	LHD0111B.252	dr
135.66	80.05	LHD4807R.251	?
137.97	-84.74	LHD0276A.116	dr
139.41	-86.30	LHD0184A.115	f
145.91	77.84	LHD5288Q.247	f
148.00	-81.36	LHD0248A.113	f
148.41	-79.04	LHD0305B.113	d
149.69	-84.26	LHD0231A.112	f
150.71	-81.43	LHD0315A.112	rd
151.29	-77.99	LHD0415B.112	d
151.44	-76.24	LHD0470B.112	pr
154.36	83.95	LHD6979R.244	p
155.35	83.91	LHD5605R.112	dp
156.86	83.25	LHD5564R.243	f
159.68	-78.18	LHD0343B.109	pr
164.46	76.18	LHD4993Q.240	rf
164.51	81.34	LHD5173R.240	fd
166.93	89.03	LHD5643R.114	dr
167.15	80.91	LHD5286R.239	f
169.86	81.35	LHD5175R.238	d
169.87	79.18	LHD5107Q.238	dr
171.02	-81.44	LHD0095A.238	p

179.43	89.72	LHD 5696R.248	fp
190.15	-77.39	LHD0469B.098	rf
191.53	83.32	LHD5417R.230	pr
191.54	83.21	LHD 5416R.230	r
192.67	-80.56	LHD0308A.097	r
192.83	-81.40	LHD 0096A.230	dr
192.90	-76.89	LHD 0392B.097	f
197.24	89.46	LHD5611R.108	drf
200.20	78.82	LHD5279Q.227	dr
224.67	-76.57	LHD0421B.085	dr
224.72	-86.21	LHD0175A.083	r
229.10	-80.45	LHD0316A.083	p
230.32	-83.27	LHD0516A.082	pd
232.01	-76.20	LHD 0210B.215	f
232.08	86.83	LHD5588R.217	fr
242.82	87.26	LHD5629R.214	df
243.37	82.05	LHD5628R.080	dr
244.03	-81.12	LHD0146A.210	d
244.99	85.05	LHD7605R.344	r
246.08	81.88	LHD 7638R.343	fh
246.21	-82.25	LHD0142A.209	dr
250.58	-85.48	LHD 0193A.073	r
251.14	-82.54	LHD0140A.207	r
251.65	79.76	LHD5397Q.209	f
254.56	79.99	LHD5250Q.208	f
254.65	-80.58	LHD0148A.206	r
258.78	-77.45	LHD0558B.072	f
261.17	86.87	LHD 5466R.208	dr
266.18	-83.86	LHD 0278A.068	r
266.42	86.58	LHD5492R.206	dr
268.33	87.79	LHD5595R.207	fp
269.63	85.11	LHD 5650R.072	d

269.77	87.47	LHD5521R.206	dr
272.70	82.72	LHD 5562R.202	r
273.41	79.55	LHD5545Q.069	d
273.56	79.74	LHD5547Q.069	d
281.47	-82.36	LHD0273A.063	fd
284.08	87.80	LHD5717R.202	dr
289.90	-80.94	LHD0149A.193	d
290.49	87.58	LHD5661R.068	d
291.22	-75.94	LHD0211B.193	d
292.29	77.16	LHD5116Q.194	d
292.30	77.07	LHD5110Q.194	d
293.74	-80.73	LHD0315A.059	p
296.28	-79.60	LHD0173B.191	dr
297.82	84.15	LHD5528R.193	dr
300.02	79.68	LHD 5345Q.059	hd
300.98	80.42	LHD5441R.191	d
301.21	80.96	LHD5456R.191	dr
301.28	85.55	LHD6749R.318	r
301.55	-86.03	LHD0082A.320	h
301.58	-88.19	LHD0119A.052	r
306.10	-77.54	LHD 0387B.055	dr
311.45	86.05	LHD6158R.320	rh
312.61	77.97	LHD5576Q.054	dr
312.73	78.18	LHD5578Q.054	dr
312.75	78.38	LHD5579Q.054	dr
314.96	77.38	LHD5307Q.053	dr
315.05	77.60	LHD5313Q.053	d
315.37	77.84	LHD5314Q.053	d
318.16	79.39	LHD5862Q.316	fdr
320.67	79.28	LHD5916Q.315	dr
323.28	86.62	LHD5574R.052	f
329.05	-78.41	LHD0362B.047	fd
338.05	86.90	LHD5972R.308	d
341.12	81.88	LHA3621R.307	dr
349.97	87.33	LHD5752R.303	pr
351.42	85.96	LHD5165R.171	r
338.05	86.90	LHD5972R.308	d
341.12	81.88	LHA3621R.307	dr
349.97	87.33	LHD5752R.303	pr
351.42	85.96	LHD5165R.171	r

Литература

1. Wyndham, J. "Wanderers of Time" . London: Coronet Books, 1973, p. 117-134.
2. Кларк А. "Часовой", . Юный техник, 1973, N12, с. 42-47.
3. Arkhipov, A.V. "Earth-Moon System as a Collector of Alien Artefacts", J. Brit. Interplanet. Soc ., 1998, 51, 181-184.
4. Arkhipov, A.V., and Graham, F.G. "Lunar SETI: A Justification", in "The Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI) in the Optical Spectrum II", ed. S.A. Kingsley & G.A. Lemarchand, SPIE Proceedings, Vol. 2704, SPIE, Washington, 150-154, 1996.
5. Ibid.
6. Амальрик А.С., Монгайт А.Л. "В поисках исчезнувших цивилизаций". М.: АН СССР, 1959, с. 128-129.
7. Sagan, C. "The recognition of extraterrestrial intelligence", Proc. R. Soc. Lond. B. 1975, 189, 143-153
8. Carl Sagan in 1962 on Lunar SETI, Selenology, 1995, 14, No. 1, p.13.
9. Holz, R.K. "Cultural features imaged and observed from Skylab 4", In: "Skylab Explores the Earth". NASA SP-380. Washington: NASA, 1977, p.225-242.
10. "DoD/NASA, Mission to the Moon", Deep Space Program Science Experiment, Clementine EDR Image Archive . Vol. 1-88. Planetary Data System & Naval Research Laboratory, Pasadena, 1995 (CDs).
11. Carlotto, M., Lunar Mysteries, "Quest for Knowledge", 1997, 1, 61.
12. Carlotto, M.J. and Stein, M.C., "A Method for Searching for Artificial Objects on Planetary Surfaces", J. Brit. Interplanet. Soc., 1990, 43, 209
13. Stein, M.C., "Fractal image models and object detection", Proc. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers, Vol.845, pp.293-300, 1987
14. Fiebag J. "Analyse tektonischer Richtungsmuster auf dem Mars. Kein Hinweise auf knstliche Strukturen in der sdlichen Cydonia-Region", Astronautik, 1990, Heft 1, 9-13, S. 47-48.
15. Coordinates of the image center.
16. DoD/NASA, Mission to the Moon, Deep Space Program Science Experiment, Clementine EDR Image Archive . Vol. 1-88. Planetary Data System & Naval Research Laboratory, Pasadena, 1995 (CDs).
17. Arkhipov A.V. "Earth-Moon System as a Collector of Alien Artefacts", J. Brit. Interplanet. Soc., 1998, 51, 181
18. Hrouda B. Der Alter Orient . Hamburg: C.Bertelsmann, 1991, S.115.
19. Fowler M.J.F. Examples of Satellite Images in Archaeological Application (<http://ourworld.compuserve.com/homepages/mjff/examples.htm>)
20. Roney J. "Cerro de Trinchera Archeological Sites", The Aerial Archaeology Newsletter. Vol. 1, No. 1, 1998 (RoneyOnTrincheras.html and She_in_shadow.html)
21. Stroup T.L. "Lunar Bases of the 20th Century: What Might Have Been", J. Brit. Interplanet. Soc., 1995, 48, p.3
22. Matsumoto S., Yoshida T., Takagi K., Sirko R.J., Renton M.B., McKee J.W. "Lunar Base System Design", J. Brit. Interplanet. Soc., 1995, 48, p.11
23. Sadeh W.Z. & Criswell M.E. "Inflatable Structures for a Lunar Base", J. Brit. Interplanet. Soc., 1995, 48, 33
24. Childress D.H. "Extraterrestrial Archaeology". Kempton: Adventures Unlimited Press, 1999, p. 1-168.
25. Coordinates of the image center.
26. DoD/NASA, Mission to the Moon, Deep Space Program Science Experiment, Clementine EDR Image Archive . Vol. 1-88. Planetary Data System & Naval Research Laboratory,