

УДК 523.3

В. Г. Кайдаш, В. В. Омельченко, Ю. Г. Шкуратов

Научно-исследовательский институт астрономии Харьковского национального университета
61022 Харьков, ул. Сумская 35

Оппозиционный эффект Луны по данным КА «Клементина»

Космические орбитальные данные, полученные камерами UVVIS и NIR КА «Клементина» в спектральном диапазоне 415—2500 нм, использованы для исследования фазовой зависимости яркости небольшого экваториального района Луны, включающего морской и материковый тип поверхности. Показано, что для изучаемого района крутизна фазовой функции при углах фазы $< 5^\circ$ от альбедо не зависит. Это противоречит эффекту когерентного усиления обратного рассеяния, который, как считается, должен наблюдаться у Луны.

ОПОЗИЦІЙНИЙ ЕФЕКТ МІСЯЦЯ ЗА ДАНИМИ КА «КЛЕМЕНТИНА», Кайдаш В. Г., Омельченко В. В., Шкуратов Ю. Г. — Космічні орбітальні дані, отримані камерами UVVIS та NIR КА «Клементина» в спектральному діапазоні 415—2500 нм, використано для вивчення фазової залежності яскравості невеликого екваторіального району Місяця, що включає морський та материковий тип поверхні. Показано, що для району, який вивчається, нахил фазової функції не залежить від альбедо для кутів фази $< 5^\circ$. Це суперечить ефектові когерентного підсилення зворотного розсіювання, що, як вважають, повинен спостерігатися для Місяця.

OPPOSITION EFFECT OF THE MOON AS SEEN BY CLEMENTINE, by Kaidash V. G., Omel'chenko V. V., and Shkuratov Yu. G. — The image data derived by the UVVIS and NIR Clementine cameras in the spectral range from 415 to 2500 nm were used to study brightness phase curves for a Moon's small equatorial region including mare and highlands areas. It is shown that the region under study does not reveal any dependence of the slope of the phase function curve on albedo for a phase angle $< 5^\circ$. This contradicts the effect of coherent backscatter enhancement that, as is assumed, should be observed for the lunar surface.

ВВЕДЕНИЕ

Оппозиционный эффект Луны (быстрое нелинейное изменение яркости поверхности величины при уменьшении фазового угла α примерно от 10° до 0°) известен как по данным наземных телескопических наблюдений [2, 5], так и по измерениям, проведенным с помощью космических аппаратов [22, 25]. В основном это увеличение блеска обусловлено теневым эффектом, хотя когерентное усиление обратного рассеяния, как считается [17—19; 23],

также может вносить заметный вклад. И в случае теневого эффекта, и в случае когерентного усиления структурные свойства реголитовых частиц и слоя, который они образуют, определяют параметры оппозиционного пика, его ширину и амплитуду. Таким образом, изучение оппозиционного эффекта важно для разработки методов дистанционной диагностики лунной поверхности.

Наблюдения Луны с Земли не могут быть проведены при фазовых углах $\alpha < 1^\circ$ вне лунного затмения. Только космические средства позволяют изучать оппозиционный пик яркости при $\alpha \leq 1^\circ$. Такие измерения были выполнены астронавтами КК «Аполлон» [22, 25]. В частности, было показано, что амплитуда оппозиционного пика лунного реголита, измеренная как отношение яркостей при $\alpha = 0^\circ$ и 8° , практически не связана с альбедо. Изображения Луны высокого пространственного разрешения, полученные с помощью КА «Клементина», дали обширный материал для работ по изучению оппозиционного эффекта лунной поверхности. КА «Клементина» был оснащен камерами, позволяющими вести спектральную съемку поверхности в широком диапазоне [20]. Наиболее надежными (в смысле фотометрической калибровки и погрешностей обработки сигнала) являются данные камеры UVVIS, имеющей пять спектральных каналов: 415 нм (фильтр А), 750 нм (фильтр В), 900 нм (фильтр С), 950 нм (фильтр D) и 1000 нм (фильтр Е). Пространственное разрешение снимков UVVIS-камеры — около 100 м/пкл. Эти данные анализировались во многих работах. В частности, предпринимались попытки установить зависимость параметров оппозиционного эффекта от альбедо лунной поверхности или длины световой волны; положительного результата они не дали [4, 6, 13, 20, 23].

Уместно напомнить недавнюю историю, связанную с сообщением об открытии узкого оппозиционного пика лунной поверхности шириной 0.25° с амплитудой 1.25 [20]. Этот результат оказался ошибочным, что признали сами его авторы [6]. Даже если для Луны такой пик и есть, то из-за больших угловых размеров Солнца (0.5°) он будет сильно размыт [23].

Оппозиционный эффект лунной поверхности исследовали также в ближней ИК-области спектра по данным, полученным камерой NIR [12]. Она имела шесть спектральных каналов: 1.10 мкм (А), 1.25 мкм (В), 1.50 мкм (С), 2.00 мкм (D), 2.6 мкм (Е) и 2.7 мкм (F). Пространственное разрешение этих снимков было меньше, чем UVVIS (около 200 м/пкл). Хотя данные камеры NIR не имеют надежной калибровки, но они все же позволяют получать некоторые оценки. В частности, в диапазоне 1.1—2.4 мкм было найдено слабое увеличение амплитуды оппозиционного пика с увеличением длины волны [12].

Настоящая статья является продолжением наших работ [3, 7, 9—13, 23, 24]. Мы предлагаем новый метод исследования оппозиционного эффекта по данным КА «Клементина».

ДАННЫЕ КА «КЛЕМЕНТИНА» И ИХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

В основной фазе миссии, которая длилась около двух месяцев, КА «Клементина», двигаясь по полярной орбите, снимал участки лунной поверхности, близкие к подаппаратной точке. На обеих камерах фильтры сменялись последовательно по мере движения аппарата. Таким образом, на каждом витке орбиты, плоскость которой была фиксирована в пространстве, снималась узкая полоса поверхности от южного полюса до северного (шириной около 30 км). Соседние кадры в этой полосе имеют большое перекрытие. Так, в одном фильтре камеры UVVIS это перекрытие достигает 30 %. Для камеры NIR оно еще больше. Для обеих камер перекрытие снимков в

соседних фильтрах значительно выше. Угловые размеры кадра камеры UVVIS составляют $4.2^\circ \times 5.6^\circ$, т. е. фазовый угол изменяется по кадру примерно в пределах $\pm 2.5^\circ$. Перекрывание соседних полос невелико вблизи экватора и значительно вблизи лунных полюсов. Угловые размеры кадра камеры NIR составляют $5.6^\circ \times 5.6^\circ$.

Поскольку съемка поверхности Луны проводилась в основном при визировании подаппаратной точки, изображения поверхности при малом фазовом угле могли быть получены только вблизи экватора. Некоторые участки в экваториальной зоне (их не очень много) были отсняты КА «Клементина» дважды, при фазовом угле $\alpha \approx 0^\circ$ и 30° . В короткие периоды до и после основной фазы миссии использовались другие режимы съемки. Так, два участка поверхности (Рейнер- γ и район посадки КК «Аполлон-15») были отсняты по специальной программе, когда аппарат, двигаясь вдоль меридиана с юга на север над изучаемым районом, гидировал участок. Это открыло дополнительные возможности для фотометрических исследований, в частности для изучения аномалий фотометрической функции [10].

С учетом специфики получения данных КА «Клементина» было предложено несколько методик извлечения информации о фазовой зависимости яркости Луны при малых углах фазы.

1. Усреднение снимков разных участков. Для оценки фазовой функции при малых фазовых углах можно усреднить большое количество различных кадров, содержащих оппозиционное пятно. При таком усреднении локальные вариации альбеда лунной поверхности будут сильно ослаблены, останутся только изменения яркости, связанные с оппозиционным пятном [4, 6, 13]. При анализе небольшого количества изображений такой метод работает плохо, поскольку вариации альбеда деталей поверхности в этом случае сглаживаются недостаточно, и потому найденная фазовая функция может содержать нерегулярности, которые не имеют отношения к реальной фазовой зависимости яркости. Вероятно, именно этот недостаток и привел к «открытию» упоминавшегося узкого оппозиционного всплеска [20].

2. Построение фазового отношения $0^\circ/30^\circ$. В области вблизи экватора Луны имеются участки, отснятые дважды (с интервалом один месяц) при $\alpha \approx 0^\circ$ и 30° . На изображении этого отношения вариации альбеда практически полностью подавляются, остается оппозиционное пятно с центром в точке нулевого фазового угла. Усреднив данные в узких кольцевых зонах с центром в точке нулевой фазы, можно оценить среднюю фазовую функцию для исследуемого участка.

Хотя этот подход прост в реализации, он имеет и недостатки. Во-первых, было мало данных, для которых имеются подходящие фазовые углы. Во-вторых, снимки, сделанные при малом и большом угле фазы, разделены месячным интервалом. За это время параметры камер изменились, что внесло ощутимые ошибки в фотометрию. В качестве еще одного недостатка отметим влияние рельефа поверхности. При различающихся условиях освещения крупные детали рельефа на снимках (горы, валы кратеров и т. п.) дают ложные детали на изображении фазового отношения ($0^\circ/30^\circ$); требуется дополнительная работа, чтобы исключить эти детали из анализа.

3. Дифференциальный метод. Как уже отмечалось, кадры, полученные в соседних фильтрах, сильно перекрываются. Это означает, что подаппаратная точка, и следовательно, точка нулевой фазы мало смещаются по поверхности от кадра к кадру. Если соседние спектральные каналы достаточно близкие, то частное двух таких изображений должно быть пропорционально логарифмической производной фазовой функции $\frac{d}{d\alpha} [\ln F(\alpha)]$. Чем меньше смещение точки нулевого фазового угла от кадра к кадру, тем лучше аппроксимируется

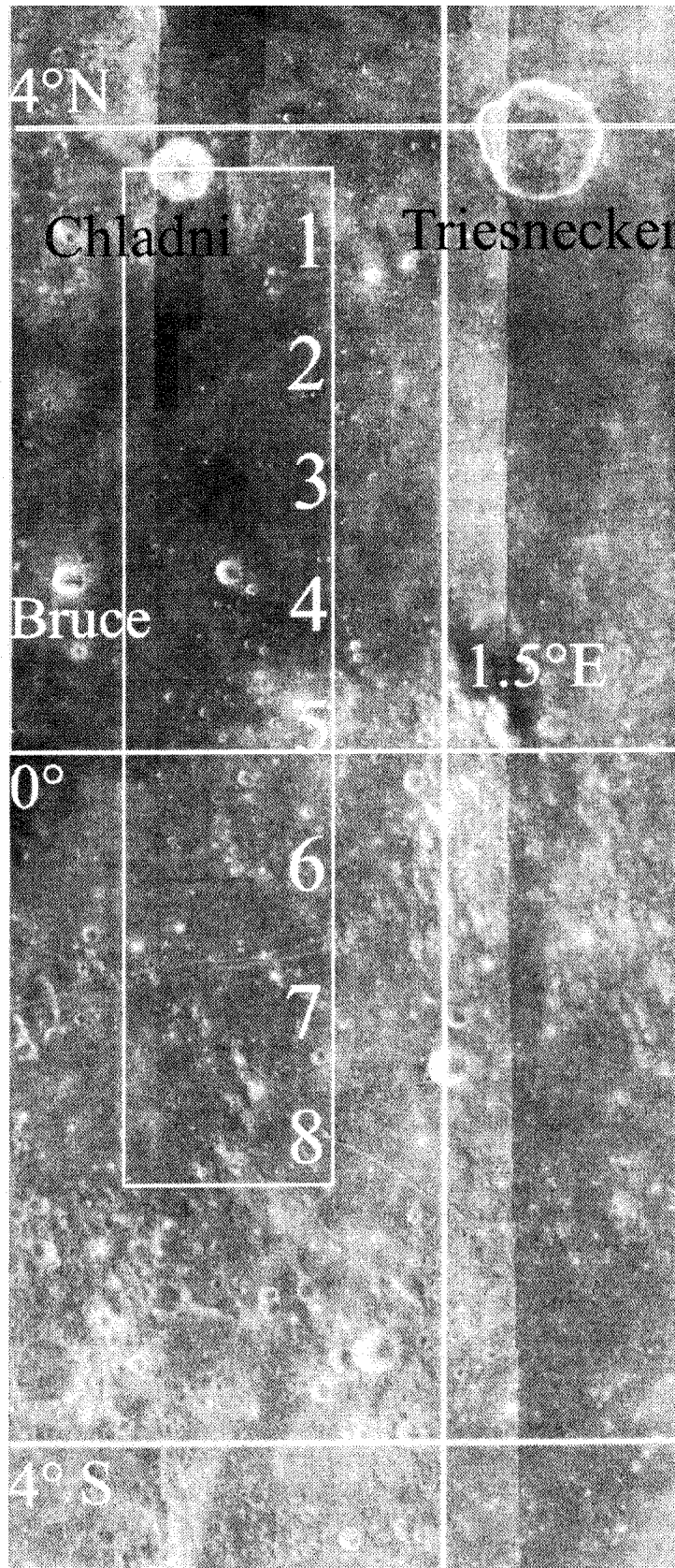


Рис. 1. Фрагмент мозаики КА «Клементина» ($\lambda = 0.75$ мкм). Прямоугольником отмечен изучаемый район (орбита 168)

логарифмической производной фазовой функции отношение двух изображений. Зная координаты точек нулевой фазы для двух кадров, можно оценить эту производную, а по ее интегралу — найти фазовую функцию. Недостаток данного метода связан с тем, что соседние спектральные каналы камер, как правило, сильно разнесены. Поэтому изображения, передающие распределение по кадру логарифмической производной, будут отягощены вариациями соответствующего показателя цвета.

Условие близости спектральных каналов более или менее выполняется только для пары UVVIS-каналов С (900 нм) и D (950 нм). Однако и в этом случае отношение (С/D) несет в себе информацию не только о фазовой функции, но и вариациях показателя цвета (900 нм)/(950 нм). Эти вариации невелики [13]. Их можно существенно ослабить, если для пары С/D при $\alpha \approx 0^\circ$ подобрать соответствующую пару С/D при $\alpha \approx 30^\circ$ и взять их отношение [7]. К сожалению, выбор таких перекрывающихся пар в материале, полученном камерой UVVIS, очень мал.

Следует отметить, что описанные выше методы чувствительны к ошибкам определения положения точки нулевого фазового угла. Данные о положении подсолнечной и подаппаратной точки в каждом кадре отягощены погрешностями [13]. К счастью, из данных о положении аппарата относительно Луны можно с достаточной точностью определить смещение точки нулевой фазы от кадра к кадру. Эта информация дает возможность уменьшить ошибку в определении α для каждого элемента изображения.

Резюмируя обзор разных подходов к определению фазовой функции по данным КА «Клементина», отметим, что наиболее надежные результаты дает дифференциальный метод, поскольку он основан на сравнении соседних кадров, когда параметры аппаратуры практически неизменны.

В настоящей работе дифференциальный метод получает дальнейшее развитие.

НОВЫЙ ПОДХОД

Мы анализируем области перекрытия снимков, полученных в одном и том же фильтре. Из-за того что смещение точки нулевого фазового угла для таких кадров сравнительно велико, применение метода логарифмической производной не представляется возможным.

В этом случае фазовая функция определялась методом подбора по критерию минимума различий модельно заданного и реального изображений, передающих распределение отношения яркости в области перекрытия кадров.

Для моделирования фазового хода яркости Луны в небольшом интервале фазовых углов хорошо подходит зависимость вида $F(\alpha) = \exp(-k\alpha)$ [1]. Методом наименьших квадратов параметр k подбирался так, чтобы различие модельных и реальных изображений было бы минимальным.

Исследовался участок поверхности Луны в центральной части видимого диска (прямоугольная область на рис. 1). В нее попали восемь перекрывающихся изображений в широтной зоне 4° с. ш. — 4° ю. ш. вблизи центрального меридиана (0.5° в. д.). Данный район охватывает восточную часть Центрального залива к юго-западу от кратера Триснекер и часть материкового района к югу от Центрального залива. Этот материковый участок содержит многочисленные мелкие кратеры и пересечен бороздами Опольцера. К югу от этих борозд находится старый кратер Реомюр, содержащий морскую заливку.

В таблице приведен список изображений данного района, вовлеченных в анализ, которые были получены КА «Клементина».

Список изображений Луны, полученных КА Клементина, которые использованы в нашей работе

Номера снимков	Канал, нм
lua2075j.168, lua2044j.168, lua2013j.168, lua1982j.168, lua1951j.168, lua1920i.168, lua1889i.168, lua1858i.168, lua1827i.168	415
lub2070j.168, lub2039j.168, lub2008j.168, lub1977j.168, lub1978j.168, lub1946j.168, lub1915i.168, lub1884i.168, lub1953i.168, lub1922i.168	750
luc2067j.168, luc2036j.168, luc2005j.168, luc1974j.168, luc1943j.168, luc1912i.168, luc1881i.168, luc1850i.168, luc1918i.168	900
lud2063j.168, lud2032j.168, lud2001j.168, lud1970j.168, lud1939j.168, lud1908i.168, lud1877i.168, lud1846i.168, lud1815i.168	950
lue2092j.168, lue2061j.168, lue2030j.168, lue1999j.168, luej1968.168, lue1937j.168, lue1906i.168, lue1875i.168, lue1844i.168	1000
lna1876i.168, lna1907i.168, lna1938j.168, lna1969j.168, lna2000j.168, lna2031j.168	1100
lnb1891i.168, lnb1922i.168, lnb1953j.168, lnb1984j.168, lnb2015j.168, lnb2046j.168	1250
lnc1883i.168, lnc1914i.168, lnc1945j.168, lnc1976j.168, lnc2007j.168, lnc2038j.168	1500
lnd1888i.168, lnd1919i.168, lnd1950j.168, lnd1981j.168, lnd2012j.168, lnd2043j.168	2000

В работе мы используем методику радиометрической калибровки данных камеры UVVIS КА «Клементина», которая описана в работе [16]. Исключен лишь этап перехода к альбедо, который вызывает много нареканий [6, 23]. Процедура калибровки данных камеры NIR описана в работах [14, 15], где отмечается предварительный характер этой калибровки — с ее помощью нельзя преобразовать данные измерений в значения спектрального альбедо. Также отмечалось, что коррекция, связанная с изображением плоского поля панорамного светоприемника камеры, нуждается в уточнении. Нами была проведена проверка корректности предлагаемого в [14, 15] плоского поля. Для этого мы использовали однородные по альбедо участки юго-восточной части Моря Ясности. Систематические различия в яркости периферических и центральных частей кадров для исследуемых участков указывают на плохое качество плоского поля, предложенного в [14, 15]. Это заставило нас создать собственную корректирующую маску для исправления поля приемника. Для этой цели использовалось усреднение 20 изображений однородного морского региона, в которых яркие кратеры исключались из усреднения. Такая процедура была выполнена для всех спектральных каналов камеры NIR.

Рассмотрим предлагаемый метод на примере приведенных на рис. 2 пары изображений, которые были получены с помощью UVVIS-камеры. На исходных изображениях видны кратеры Брюс и Блэгт в северо-восточной части Центрального залива (рис. 2, *а, б*); север внизу. Частное исходных изображений приведено на рис. 2, *в*. Изолинии разности фазовых углов $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$ для каждого элемента изображения приведены на рис. 2, *г* (здесь α_1 относится к одному изображению, а α_2 — к другому). Задавшись фазовой функцией вида $\ln(F(\alpha)) = k\alpha$, мы минимизировали сумму

$$\sum \left[\ln \frac{F(\alpha_1)}{F(\alpha_2)} - k(\alpha_1 - \alpha_2) \right]^2$$

с целью оценки параметра наклона фазовой функции k . Так мы определили k для восьми пар изображений, полученных с помощью камеры UVVIS (рис. 1). Подобная работа выполнена также для камеры NIR. В этом случае, однако, мы исключили два длинноволновых канала (E и F), для которых качество данных было сравнительно низким. Мы использовали оценки k в диапазоне $\alpha \approx 0.25...5.0^\circ$ для построения корреляционной зависимости этого параметра от альбедо (рис. 3). Данные при $\alpha < 0.25^\circ$ были исключены из

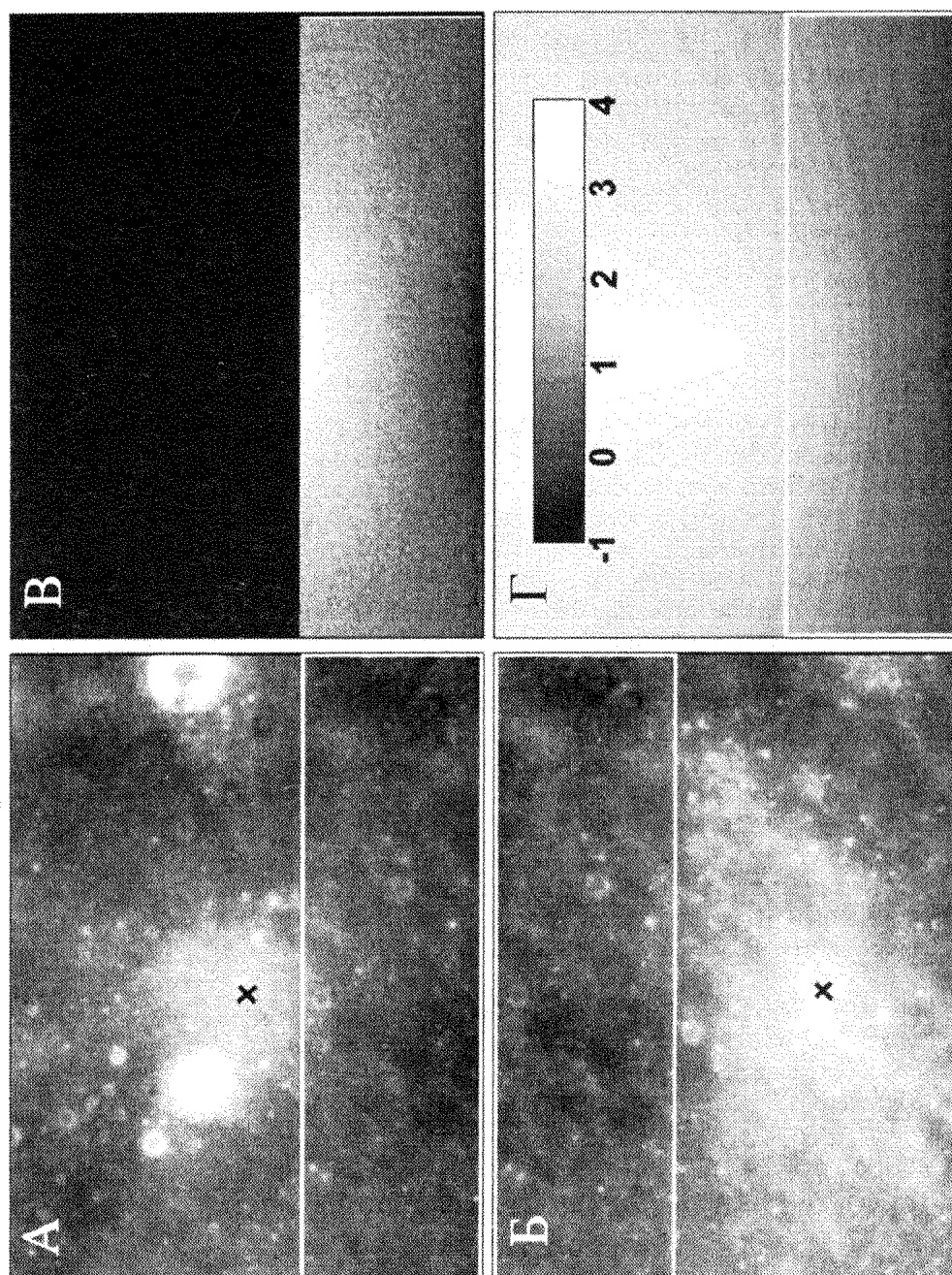


Рис. 2. Иллюстрация используемого метода для изображений КА «Клементина»: *а* — LUB1978j.168, *б* — LUB1946j.168; *в* — частное указанных изображений; *г* — изолинии разности фазовых углов

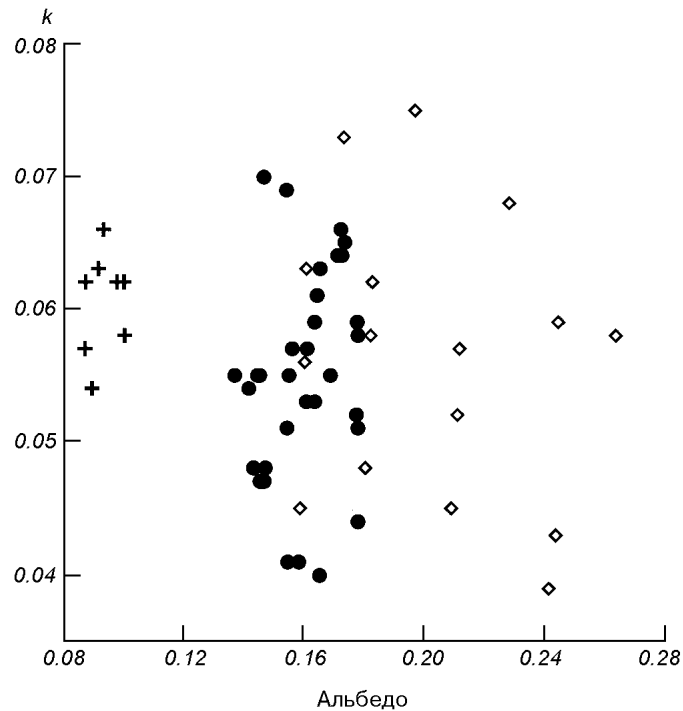


Рис. 3. Зависимость наклона фазовых кривых от альbedo для исследованных участков лунной поверхности: крестики — канал UUVIS A, точки — каналы UUVIS B, C, D, E, ромбики — каналы NIR A, B, C, D

анализа, поскольку в этой области фазовых углов происходит сглаживание фазовой функции за счет конечности угловых размеров солнечного диска.

На рис. 3 представлены все исследованные участки для всех использованных спектральных каналов камер UUVIS и NIR (шкала параметра k соответствует случаю, когда α выражено в градусах). Как отмечалось ранее, в ходе коррекции и калибровки изображений абсолютная величина данных не проводилась. Мы выполнили перевод в шкалу альbedo, воспользовавшись средним спектром альbedo лунной поверхности, построенным по данным спектрального каталога видимого полушария Луны [21]. Таким образом, шкала альbedo на рис. 3 соответствует фотометрической системе этого каталога.

Рис. 3 показывает, что существенной зависимости наклона фазовой функции от отражательной способности поверхности не наблюдается. Несколько отличаются значения для фильтра A камеры UUVIS от значений для других фильтров. Это согласуется с данными работ [6, 23], однако входит в противоречие с тем, что предсказывает механизм когерентного усиления обратного рассеяния. Хотя альbedo лунной поверхности довольно низкое, когерентное усиление обратного рассеяния лунной поверхности может играть определенную роль в формировании оппозиционного пика яркости [17—19, 23]. Когерентный механизм предсказывает увеличение амплитуды оппозиционного эффекта с увеличением альbedo поверхности. Альbedo Луны увеличивается с длиной волны, поэтому логично ожидать систематически более крутого хода фазовых кривых в ИК-диапазоне по сравнению с видимым диапазоном спектра. Однако этого не наблюдается. Создается впечатление, что основной вклад в формирование оппозиционного эффекта Луны вносит теневой эффект. Он слабо зависит от длины волны

падающего излучения и альbedo поверхности (если это альbedo достаточно низкое). Таким образом, альbedo Луны слишком мало для того, чтобы могло наблюдаться увеличение оппозиционного пика за счет когерентного усиления. Напрашивается вывод о том, что аргументы [17—19, 23] в пользу наличия такого пика для Луны не совсем корректны. Однако аналогичные исследования, выполненные для Европы, яркого спутника Юпитера, дают еще более странный результат: с увеличением альbedo крутизна фазовой зависимости яркости при очень малых углах фазы не только не увеличивается, но даже уменьшается [8]. Это наталкивает на мысль о том, что в механизме когерентного усиления обратного рассеяния, возможно, есть факторы, способные ослаблять амплитуду оппозиционного пика при возрастании альbedo.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные камер UVVIS и NIR КА «Клементина» были использованы нами для исследований фазовой зависимости яркости восьми участков в экваториальной области Луны, включающей морской и материковый тип поверхности. Эти исследования показали, что альбедной (волновой) зависимости крутизны фазовой функции в диапазоне углов фазы $< 5^\circ$ для спектрального диапазона 0.4—2.0 мкм практически нет; это противоречит механизму когерентного усиления обратного рассеяния.

Авторы благодарны фонду INTAS (грант 2000-0792) за частичную поддержку этой работы.

1. Акимов Л. А. О природе оппозиционного эффекта // Вестн. АО ХГУ. Физика Луны и планет. Фундаментальная астрометрия.—1980.—204, вып. 15.—С. 3—12.
2. Федорец В. А. Фотографическая фотометрия лунной поверхности // Ученые записки Харьков. ун-та.—1952.—42.—С. 49—172.
3. Шкуратов Ю. Г., Креславский М. А., Овчаренко А. А. и др. Диагностичность исследований оппозиционного эффекта по космическим изображениям // Космічна наука і технологія.—1998.—4, № 3/4.—С. 54—59.
4. Buratti B. J., Hillier J. K., Wang M. The lunar opposition surge: observation by Clementine // Icarus.—1996.—124.—P. 490—499.
5. Gehrels T., Coffeen T., Owings D. Wavelength dependence of polarization. III. The lunar surface // Astron. J.—1964.—69.—P. 826—852.
6. Hillier J., Buratti B., Hill K. Multispectral photometry of the Moon and absolute calibration of the Clementine UV/Vis camera // Icarus.—1999.—141.—P. 205—225.
7. Kaydash V., Shkuratov Yu., Kreslavsky M., Omelchenko V. Spectral behavior of the lunar opposition spike as seen from Clementine // Lunar and Planet. Sci. 33. — Houston: LPI, 2002.—Abstract N 1235.
8. Kreslavsky M., Helfenstein P., Shkuratov Yu. Europa's opposition spike: preliminary results from Galileo E14 observations // Lunar and Planet. Sci. 31. — Houston: LPI, 2000.—Abstract N 1142.
9. Kreslavsky M. A., Shkuratov Yu. G. Anomalies of the lunar regolith structure in the vicinity of Apollo-15 landing site: results from photometric analysis of Clementine UVVIS images // Lunar and Planet. Sci. 32. — Houston: LPI, 2001.—Abstract N 1075.
10. Kreslavsky M., Shkuratov Yu. Photometric anomalies of the lunar surface: new results from Clementine data analysis // Lunar and Planet. Sci. 33. — Houston: LPI, 2002.—Abstract N 1161.
11. Kreslavsky M. A., Shkuratov Yu. G., Kaydash V. G. Lunar opposition surge observed by Clementine: new results // Lunar and Planet. Sci. 29-th. — Houston: LPI, 1998.—Abstract N 1118.
12. Kreslavsky M. A., Shkuratov Yu. G., Kaydash V. G., et al. Lunar opposition spike observed by Clementine NIR camera: preliminary results // Lunar and Planet. Sci. 32. — Houston: LPI, 2001.—Abstract N 1140.
13. Kreslavsky M. A., Shkuratov Yu. G., Velikodsky Yu. I., et al. Photometric properties of the lunar surface derived from Clementine observations // J. Geophys. Res. Planets.—2000.—105, N E8.—P. 20.281—20.295.

14. *Lucey P., Blewett D., Eliason E., et al.* Optimized calibration constants for the Clementine nir camera // *Lunar Planet. Sci.* 31. — Houston: LPI, 2000.—Abstract N 1273.
15. *Lucey P., Hinrichs J., Budney C., et al.* Calibration of the Clementine near infrared camera: Ready for the prime time // *Lunar Planet. Sci.* 29. — Houston: LPI, 1998.—Abstract N 1576.
16. *McEwen A., Eliason E., Lucey P., et al.* Summary of radiometric calibration and photometric normalization steps for the Clementine UVVIS Images // *Lunar and Planet. Sci.* 29. — Houston: LPI, 1998.—Abstract N 1466.
17. *Nelson R., Hapke B., Smythe W., Horn L.* Phase curves of selected particulate materials: the contribution of coherent backscattering to the opposition surge // *Icarus.*—1998.—**131.**—P. 223—230.
18. *Nelson R. M., Hapke B. W., Smythe W. D., Spilker L. J.* Experimental tests of models of the coherent backscattering opposition effect // *Lunar Planet. Sci.* 29. — Houston: LPI, 1998.—Abstract N 1146.
19. *Nelson R. M., Hapke B. W., Smythe W. D., Spilker L. J.* The opposition effect in simulated planetary regoliths. Reflectance and circular polarization ratio change at small phase angle // *Icarus.*—2000.—**147.**—P. 545—558.
20. *Nozette S., Rustan P., Pleasance L., et al.* The Clementine mission to the Moon: Scientific overview // *Science.*—1994.—**266.**—P. 1835—1839.
21. *Pieters C., McCord T., Clark R., et al.* Moon: Near-infrared Spectral Reflectance, a First Good Look // *J. Geophys. Res.*—1981.—**86,** N B11.—P. 10883—10892.
22. *Pohn H. A., Radin H. W., Wildey R. L.* The Moon's photometric function near zero phase angle from Apollo 8 photography // *Astrophys. J.*—1969.—**157,** N 1.—P. L193—L195.
23. *Shkuratov Yu., Kreslavsky M., Ovcharenko A., et al.* Opposition effect from Clementine data and mechanisms of backscatter // *Icarus.*—1999.—**141,** N 1.—P. 132—155.
24. *Shkuratov Yu. G., Kreslavsky M. A., Stankevich D. G.* On the lunar opposition spike observed by Clementine: new results // *Lunar and Planet. Sci. Conf.* 28. — Houston: LPI, 1997.—P. 1307—1308.
25. *Wildey R. L.* Physical and geological aspects of heiligenschein measurements // *Apollo 16 Prelim. Sci. Rep. NASA SP-315.* — Washington, 1972.—P. (29)113—(29)119.

Поступила в редакцию 30.01.03