

УДК 523.3-35:520.876

Предложения по проведению экспериментов «Янус» на лунном полярном спутнике

Ю. Г. Шкуратов¹, Д. Г. Станкевич¹,
Ю. В. Корниенко², А. С. Качанов³, В. И. Сербин³

¹ Астрономічна обсерваторія Харківського університету

² Інститут радіофізики і електроніки НАН України, Харків,

³ Інститут геохімії і аналітичної хімії ім. В. І. Вернадського РАН, Москва

Надійшла до редакції 11.04.96

Описано експерименти, направлені на вивчення поверхні Місяця оптичними методами з борту місячного полярного супутника. Метою експериментів є створення фотометричної еталонної мережі для калібрування зображень Місяця високої роздільності, а також глобальне дистанційне дослідження мінералого-геохімічних та структурних властивостей місячної поверхні оптичними методами в широкому діапазоні спектра (λ 0.2—2.5 мкм) з розділенням на поверхні біля 15 км. Спектрофотометрію Місяця при малих фазових кутах пропонується виконувати в 14 спектральних участках, найбільш інформативних з мінералогічної точки зору. В УФ-частині спектра (λ 0.2 мкм) запропоновано вимірювати ступінь і положення площини поляризації при фазових кутах, близьких до 90°, з метою отримання інформації про мікроструктуру реголіту.

ВВЕДЕНИЕ

После почти двадцатилетнего перерыва интерес к изучению Луны с помощью космических аппаратов начинает возобновляться. Так, в 1992 г. КА «Галилей» провел спектрально-зонную съемку части видимого и обратного полушарий Луны. В 1994 г. глобальное исследование всей лунной поверхности с высоким разрешением выполнил КА «Клементина». Анализ причин возобновления такого интереса можно найти в работе Кислюк и др. (1996), в которой, кроме того, дано краткое описание программ предстоящих космических исследований Луны в США, Японии, России и странах Западной Европы.

Одним из этапов большинства этих программ являются запуски полярного спутника вокруг Луны с целью детального исследования характеристик ее поверхности. Эти запуски должны существенно расширить объем информации, полученной КА

«Клементина». В частности, предполагается на американском спутнике «Лунар Проспектор» провести геохимическую съемку Луны в гамма- и рентгеновском диапазонах. Такая съемка на КА «Клементина» не проводилась. Существуют, однако, идеи экспериментов, которые при всей их простоте и полезности не предполагается реализовать в ближайших космических миссиях к Луне. Два эксперимента такого рода будут описаны ниже.

Степень разработки идеологии и приборного воплощения этих экспериментов довольно высока. Дело в том, что в первой половине 1980 гг. в Советском Союзе прорабатывался вопрос о запуске лунного полярного спутника предположительно в 1990-х гг. Эксперименты, описываемые ниже (они получили название «Янус»), и предполагалось провести на этом спутнике. К сожалению, в силу ряда причин запуск спутника не состоялся. Однако опыт, накопленный в процессе его подготовки, особенно в части идеологии научных эксперимен-

тов, нам представляется полезным; его можно будет использовать в будущем (см. подробнее работу Кислюк и др., 1996).

ПРОЕКТ 1Л

Научное руководство космическим проектом 1Л — так назывался проект советского лунного полярного спутника — осуществлялось Институтом геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН. Эксперименты, о которых пойдет речь, разрабатывались совместно сотрудниками АО ХГУ, ИРЭ НАН Украины и ГЕОХИ РАН.

Спутник предполагалось запустить на высокую окололунную орбиту, близкую к круговой, с наклоном около 85° . Средняя высота полета спутника над лунной поверхностью — около 100 км. Период обращения вокруг Луны — около 2 ч. Основной научной задачей этой миссии была обзорная съемка всей лунной поверхности с помощью приборов различного назначения. В состав бортовой научной аппаратуры должны были войти, в частности:

- видеоспектрометр, позволяющий проводить съемку с пространственным разрешением около 100 м в 3–4 участках видимого спектра;
- полупроводниковый и сцинтилляционный гамма-спектрометры для изучения типа пород, их элементного состава и фона мягкого гамма-излучения Луны (разрешение на поверхности — около 100 км, спектральный диапазон 0.3—9.0 МэВ);
- рентгеновский спектрометр для изучения содержания магния, алюминия и кремния в поверхностных породах (разрешение — несколько десятков километров);
- нейтронный спектрометр для определения водородосодержащих областей в поверхностном грунте (разрешение около 100 км);
- феррозондовый и электронный магнитометры для картографирования с разрешением около 50 км структуры магнитных полей лунной поверхности;
- радиокomплекс для зондирования подстилающих реголитовый чехол горизонтов скальных пород;
- измеритель световых потоков «Янус» для картографирования фотометрических и поляриметрических характеристик лунной поверхности с разрешением около 15 км с целью создания эталонной фотометрической сети на лунной поверхности и анализа минералого-геохимических, а также физических свойств поверхности.

Предполагалось, что общий вес научных приборов не превысит 300 кг, а их общее энергопотребление — 300 Вт.

Любой бортовой эксперимент — это компромисс между его научной эффективностью и возможностями КА. К последним относятся конструкционные, энергетические, весовые и ориентационные ограничения, а также информационные возможности телеметрических каналов. Поэтому, прежде чем переходить к описанию деталей экспериментов «Янус», укажем еще несколько подробностей функционирования спутника.

КА должен был представлять собой развитие изделия «Фобос», которое разрабатывалось и создавалось в НПО им. С. А. Лавочкина.

Предполагалось, что плоскость орбиты аппарата будет постоянной (ее изменение требует больших затрат топлива). За счет вращения Луны под аппаратом от витка к витку должны проходить все новые и новые участки поверхности. Расстояние на поверхности, отвечающее двум соседним виткам, составляет примерно 30 км, или около 1° . Предполагаемое время штатной работы КА — 1 год. По окончании этого времени в случае сохранения работоспособности КА его предполагалось либо оставить на окололунной орбите для продолжения съемки Луны, либо увести в одну из устойчивых либрационных точек системы Земля—Луна для исследования космического пространства в окрестности этой точки.

Питание КА должно было осуществляться от солнечных батарей. На КА не предполагалось никаких поворотных платформ — все научные приборы должны были жестко крепиться на борту во внешнем пространстве, и наводиться на Луну за счет ориентации самого КА.

Предполагалось, что спутник будет иметь канал связи от 32 до 64 Кбит/с (для сравнения: информационный канал КА «Клементина» имел пропускную способность на 1—2 порядка выше).

Предполагалось, что орбита спутника будет корректироваться примерно один раз в месяц двигателями малой тяги. Точность определения координат орбиты КА предполагалась невысокой: в горизонтальной плоскости — не хуже 5—10 км, а по высоте над поверхностью Луны — не хуже 3 км. Прорабатывалась возможность установки лазерного альтиметра, что могло бы существенно улучшить точность измерения высотной координаты и позволило бы провести эксперименты по глобальному профилированию лунной поверхности.

Из-за постоянства плоскости орбиты КА в пространстве, для обеспечения освещения батарей аппарата Солнцем предусматривались различные

ориентационные режимы работы спутника в течение года. В случае, когда плоскость орбиты КА приблизительно перпендикулярна к солнечным лучам (в двух секторах орбиты Земли с раскрытием $\pm 45^\circ$), ось $-Z$ аппарата всегда направлена в надир, а ось X — на Солнце, при этом исследуется близтерминаторная область Луны при фазовом угле около 90° . Этот режим работы КА называется ПЦТО (постоянная планетоцентрическая ориентация). Это основной режим работы КА. В нем на научные приборы отводилось до 300 Вт мощности. В периоды, когда плоскость орбиты приблизительно параллельна солнечным лучам, предусматривался режим ПСЗО (постоянная солнечно-звездная ориентация). В этом случае ось X должна быть направлена на Солнце, а ось Y — сохранять ориентацию в пространстве. При этом направление $-Z$ может составлять любой угол с местной нормалью поверхности (от 0 вблизи экватора до 90°). В этом режиме была возможна съемка при малых (даже нулевом) фазовых углах. К сожалению, в этом режиме из-за ухода КА в лунную тень и перехода на аккумуляторное питание на научные приборы могло быть отведено только 100 Вт мощности.

Из-за необходимости переориентации спутника при переходе из режима ПСЗО в режим ПЦТО и обратно возникла дилемма: либо оси визирования некоторых приборов делать также переориентируемыми, что технически ненадежно, либо фактически дублировать эти приборы для каждого ориентационного режима. Такая проблема возникла и с прибором «Янус». Было решено, что он будет состоять из двух различно ориентированных в пространстве блоков — блока спектрометра и блока поляриметра.

Оба блока предполагалось крепить на одной из штанг солнечных батарей. Это место, несмотря на его «некомфортность», было выбрано для того, чтобы иметь возможность наблюдать в заданном секторе в обоих режимах (ПЦТО и ПСЗО) одновременно и лунную поверхность и Солнце (для фотометрической привязки). Требование такой двуликости дало название прибору (и соответствующим экспериментам) — «Янус». Необходимость удаления прибора от корпуса КА поставило разработчиков в жесткие условия по тепловому режиму: температура в месте крепления приборов могла варьировать от -20° до 50° С.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Эксперименты «Янус» имели целью: а) создание эталонной фотометрической сети на Луне для по-

следующей калибровки и фотометрической привязки снимков высокого разрешения; б) глобальное дистанционное исследование минералого-геохимических и структурных свойств лунной поверхности.

Измерения предполагалось проводить в широком диапазоне спектра (λ 0.2—2.5 мкм) с разрешением на поверхности около 15 км. Было выбрано 14 спектральных участков, наиболее информативных с минералого-геохимической точки зрения. В одном из участков (λ 0.2 мкм), помимо измерений интенсивности, предполагалось производить измерения степени и положения плоскости поляризации с целью получения информации о микроструктуре поверхностных зон реголита.

Эксперимент планировался на весь период активного существования КА на орбите спутника Луны как в режиме ПЦТО, так и в режиме ПСЗО. В режиме ПЦТО должны были выполняться поляриметрические измерения областей, близких к терминатору, при фазовых углах около 90° . В режиме ПСЗО предполагалось проводить спектрофотометрические измерения в диапазоне фазовых углов $\pm 45^\circ$.

Рассмотрим вопрос о выборе спектральных каналов для фильтрового спектрофотометра «Янус».

Видимый диапазон. Исследование спектральных особенностей участков лунной поверхности проводятся давно, однако лишь в последние десятилетия удалось доказать их важность. Так, Charette et al. (1974), исследуя отношение альbedo поверхности в двух длинах волн — $C(0.56/0.40$ мкм), обнаружили тесную корреляцию этой величины с содержанием двуокиси титана в зрелых морских грунтах. Эта корреляция позволяет количественно прогнозировать содержание титана в морских областях лунной поверхности (Johnson et al., 1977; 1991). В связи с этим был сделан выбор спектральных окон, центрированных на λ 0.41 и 0.56 мкм.

Отметим возможность использования данных фотометрии для построения пространственных распределений величины наклона фазовой кривой яркости в заданном диапазоне фазовых углов (Shkuratov et al., 1994). Эти распределения могут дать важную информацию о величине характерного наклона лунного мезорельефа, а в некоторых случаях — и о размерах частиц лунного грунта.

ИК-диапазон ($\lambda \sim 1$ мкм). Показатель цвета $C(0.96/0.56$ мкм), либо $C(0.95/0.75$ мкм) характеризует глубину полосы поглощения $d-d$ типа ионов двухвалентного железа в минералах пироксенового и оливинового рядов. Эти показатели цвета исследовались различными авторами в сочетании с параметрами $C(0.56/0.40$ мкм) и альbedo $A(0.56$ мкм), что позволило выполнить оптическую классифика-

цию лунных морских базальтов и выделить типы базальтов, неизвестные по исследованиям лунных образцов (Pieters, 1977; 1978). Недавно стало известно, как с помощью измерений показателя цвета $C(0.95/0.75 \text{ мкм})$ и альbedo $A(0.75 \text{ мкм})$ определить не только содержание железа в лунном грунте, но и степень зрелости — важной характеристики вещества лунной поверхности, зависящей от экспозиционного возраста этой поверхности (Lucey et al., 1995).

В эксперименте «Янус» предлагается исследовать не только интенсивность полосы поглощения ионов двухвалентного железа близ $\lambda 0.95 \text{ мкм}$, но и положение центра этой полосы, ее ширину и асимметрию. Как показали лабораторные исследования (Adams, 1974), положение центра полосы вблизи $\lambda 0.95 \text{ мкм}$ тесно связано с типом пироксенов по содержанию кальция. Совместное рассмотрение всех перечисленных параметров полосы, включая ширину и асимметрию, в принципе позволяет оценить вариации по лунной поверхности: степени железистости и кальциевости пироксенов, степени однородности по типу пироксенов, отношения содержания оливинов и пироксенов. Отметим, что эта работа до сих пор не выполнена, несмотря на то, что соответствующие данные высокого разрешения были получены КА «Клементина». Проблема состоит в том, что данные съемки с этого аппарата пока недостаточно хорошо откалиброваны. Если бы в свое время описываемые эксперименты «Янус» были проведены, была бы качественная эталонная сеть фотометрических данных для выполнения калибровок спектрально-анализаторов высокого разрешения.

Для исследования параметров полосы поглощения вблизи $\lambda 0.95 \text{ мкм}$ в спектрометре «Янус» были выбраны спектральные окна около $\lambda\lambda 0.75, 0.85, 0.95, 1.05, 1.20 \text{ мкм}$.

ИК-диапазон ($\lambda \sim 2 \text{ мкм}$). Полоса поглощения пироксенов вблизи $\lambda 2 \text{ мкм}$, так же как полоса $\lambda 1 \text{ мкм}$, обусловлена расщеплением энергетических уровней ионов двухвалентного железа в кристаллическом поле лигандов. В отличие от полосы $\lambda 1 \text{ мкм}$, полоса $\lambda 2 \text{ мкм}$ формируется только минералами пироксенового ряда. Совместное изучение обеих полос может способствовать правильной оценке отношений содержания в грунте оливинов и пироксенов. Кроме того, лабораторные эксперименты показали, что полосы $\lambda\lambda 1$ и 2 мкм по-разному реагируют на влияние космогенной переработки лунных грунтов (Pieters, 1978; Davies et al., 1979). Вторичные стекла, содержащие ионы Fe^{+2} имеют полосу вблизи $\lambda 1 \text{ мкм}$ и почти не имеют особенностей спектра вблизи $\lambda 2 \text{ мкм}$. Как недавно выясни-

лось (Moroz et al., 1995), это может быть связано с тем, что при остывании расплава, из которого образуются стекла, кристаллизуются преимущественно оливины, и лишь в последнюю очередь — пироксены.

Для изучения полосы вблизи $\lambda 2 \text{ мкм}$ в спектрометре были предусмотрены следующие спектральные каналы $\lambda\lambda 1.40, 1.60, 1.80, 2.00, 2.20, 2.40 \text{ мкм}$.

УФ-диапазон. Представляет большой интерес исследование УФ-части спектра Луны, недоступной наблюдениям с Земли. В области спектра менее $\lambda 0.4 \text{ мкм}$ отражательная способность лунного грунта определяется сильными полосами переноса заряда типа кислород—металл, а также собственным поглощением. Вследствие этих механизмов, альbedo Луны вблизи $\lambda 0.2 \text{ мкм}$ очень низкое (около 3 %), а контраст море—материк минимальный, т. е. моря имеют примерно такое же альbedo, как и материка. Как показали лабораторные исследования (Dollfus et al., 1979), показатель цвета $C(0.56/0.20 \text{ мкм})$, так же как и $C(0.56/0.40 \text{ мкм})$, связан с содержанием титана в лунном грунте. Причем показатель цвета $C(0.56/0.20 \text{ мкм})$, в отличие от $C(0.56/0.40 \text{ мкм})$, пригоден для прогнозирования содержания титана при низких концентрациях, например, в материковом грунте.

Как отмечалось, вблизи $\lambda 0.2 \text{ мкм}$ альbedo Луны очень низкое, поэтому в силу эффекта Умова здесь следует ожидать высокой степени поляризации рассеянного лунным грунтом излучения при больших фазовых углах. Оценки показывают, что эта степень поляризации может достигать 50 %. Поляриметрические измерения Луны сравнительно малочисленны. Среди имеющихся работ в этой области отметим для примера работы Dollfus, Bowell (1971), Shkuratov et al. (1992), в которых приведен большой объем наблюдательных данных, полученных с помощью наземных телескопов. С помощью космических средств поляриметрические измерения Луны еще не проводились. Диагностическая ценность поляриметрической информации с точки зрения физики и геологии Луны была осознана сравнительно недавно. В частности, было показано, что существует довольно тесная корреляционная зависимость между средним размером частиц лунного реголита и так называемым параметром поляриметрических аномалий, который в первом приближении можно считать пропорциональным величине второго параметра Стокса рассеянного излучения (Shkuratov, Opanasenko, 1992). Аналогичная зависимость известна и для аналогов грунта Марса (Dollfus, Deschamp, 1986). Кроме того, степень поляризации при углах фазы $90\text{—}120^\circ$ характеризует микрошероховатость поверхности реголитовых

частиц в масштабах 1 мкм (Shkuratov, Oranassenko, 1992).

Эти соображения определили выбор спектрального окна, центрированного на λ 0.22 мкм для выполнения как фотометрических, так и поляриметрических измерений.

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУРЫ ИЗМЕРЕНИЙ

В ходе эксперимента предполагалось измерять отношение световых потоков от освещенных Солнцем площадок лунной поверхности со средним размером около 15×15 км, к световому потоку, идущему непосредственно от Солнца. Для построения изображений (карт) лунной поверхности предполагалось использовать принцип плоскостного сканирования. Специальное механическое сканирующее устройство должно было осуществлять развертку изображения поперек следа орбиты КА (строчная развертка) и фотометрическую привязку к Солнцу. Кадровая развертка осуществляется движением самого КА. Предполагалось, что вся поверхность Луны будет покрыта измерениями в течение одного месяца работы аппарата в режиме ПЦТО (поляриметрические измерения) и одного месяца работы в режиме ПСЗО (спектрофотометрические измерения). Четкость изображений всей поверхности Луны при этом составила бы примерно 350 (по широте) на 700 (по долготе) элементов. Непрерывная работа прибора в течение года могла позволить за счет избыточности данных создать однородную по точности и пространственному разрешению сеть прецизионных спектрофотометрических и поляриметрических измерений поверхности Луны.

Планировалось, что объем информации за сутки в режиме ПЦТО составит 4 Мбит, в режиме ПСЗО — до 14 Мбит. Для приборов, строящих изображения, это объем небольшой, однако даже сейчас он представляется достаточным для создания прецизионной фотометрической сети данных, которая может использоваться для целей калибровки изображений высокого разрешения.

Предполагалось, что измерения световых потоков будут выполнены с помощью ФЭУ — это светоприемники, свойства которых хорошо изучены; они способны обеспечить относительную точность фотометрии в пределах 1 % даже в условиях космического эксперимента, особенно если принять во внимание дифференциальный характер планируемых измерений световых потоков.

Рассмотрим более детально работу отдельных блоков.

Поляриметр (режим ПЦТО). Поляриметр дол-

жен был измерять световые потоки в окрестности подаппаратной точки в спектральном участке λ 0.22 мкм. Поляриметр сканирует поверхность Луны в плоскости ZOX . Линия кадровой развертки лежит в плоскости ZOY . Поле зрения поляриметра в плоскости ZOX составляет 35° (длина строки), а в плоскости ZOY — 3.5° (ширина строки); поле центрировано относительно оси $-Z$. Таким образом, за полный период работы аппарата в режиме ПЦТО поляриметр мог охватить довольно широкий диапазон фазовых углов. Число измерений в строке равно 8 плюс измерение солнечного светового потока. Интервал времени между измерениями соседних строк постоянный и равен 4 с, чем обеспечивается съемка без зазоров при высотах больших 40 км. Для измерений поляризации предполагалось использование вращающейся фазовой пластинки.

Спектрофотометр (режим ПСЗО). Спектрофотометр должен был проводить измерения в окрестности точки пересечения оси $-X$ (вдоль направления солнечных лучей) с лунной поверхностью. Эта точка находится в условиях, близких к оппозиции (нулевой угол фазы) Предполагалось, что спектрофотометр будет проводить измерения в 14 спектральных каналах, перечисленных выше. Спектрофотометр может сканировать поверхность Луны в плоскости XOY . Линия кадровой развертки при этом лежит в плоскости ZOX . Поле зрения спектрофотометра в плоскости XOY составляет 30° , а в плоскости ZOX оно равно 3.5° . Это поле центрировано относительно оси $-X$. Таким образом, спектрофотометр мог бы исследовать лунную поверхность в диапазоне углов $0-30^\circ$, определяемых углом развертки сканера. Для фотометрической привязки к Солнцу необходимо было обеспечить поле зрения спектрофотометра вдоль направления $+X$ в конусе с углом 20° . Число измерений в строке равно 7 плюс измерение солнечного потока. Промежуток времени между измерениями строк равен 4 с. Измерения с помощью спектрофотометра в зоне больших широт нецелесообразно из-за сильных перспективных искажений.

ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

Предполагалось, что обработка данных будет состоять из трех стадий. Первая стадия — первичная обработка — имела целью определение наиболее вероятных значений всех измеряемых величин и представление их в единой форме. Эта стадия включает в себя следующие основные этапы:

— анализ первичных сообщений, принятых от приборов по каналу связи, проверку их на

наличие ошибок (с использованием избыточности), устранение ошибок (там, где это возможно), выявление блоков данных, содержащих неисправимые ошибки;

- проверку правильности работы аппаратуры по диагностической информации, содержащейся в сообщении, выявление блоков данных, недостоверных из-за неправильной работы аппаратуры;
- определение поправок на основании калибровочной и диагностической информации и внесение их в результаты измерений;
- определение наиболее вероятных значений измеряемых величин для тех участков поверхности, где имеются избыточные измерения, и определение правдоподобных значений этих величин там, где информация в результатах частично или полностью отсутствует из-за сбоя в работе прибора или помех в канале связи;
- координатная привязка результатов измерений;
- составление карты достоверности полученных результатов;
- приведение карт оптических параметров к стандартной картографической проекции.

Вторичная обработка данных включает в себя анализ статистических закономерностей, связывающих значения исследуемых параметров, и классификацию участков поверхности Луны с учетом априорной информации и данных, полученных с других приборов, расположенных на борту КА. Особый интерес представляла бы совместная обработка результатов наших экспериментов с данными измерений рентгеновской и гамма-спектроскопии, а также магнитометрическими и альтиметрическими данными. Основными этапами такой обработки являются:

- построение и исследование многомерных гистограмм распределения изучаемых параметров;
- кластерный анализ этих гистограмм;
- построение карт типов лунного грунта на основании результатов кластерного анализа;
- построение многопараметрических карт физических характеристик лунной поверхности;
- построение карт физических и минералого-геохимических характеристик Луны, косвенно определяемых по исследуемым параметрам на основании статистических закономерностей.

Третья стадия обработки представляет собой геологический анализ результатов первичной и вторичной обработки с точки зрения современных представлений о природе Луны. Эта стадия обработки выполняется геологами и может включать в себя

повторение некоторых этапов вторичной обработки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эксперименты «Янус», в случае их успешной реализации, могли бы, несмотря на небольшое пространственное разрешение, дать принципиально новую обзорную информацию о всей поверхности лунного шара. Кроме того, они позволили бы создать однородную фотометрическую сеть данных низкого разрешения необходимую для калибровки снимков высокого разрешения. Такой сети сейчас недостает для эффективной взаимной фотометрической увязки снимков, полученных КА «Клементина». Еще раз подчеркнем, что эксперимент, связанный с поляриметрическими измерениями лунной поверхности в ближней УФ-части спектра, уникален по своей постановке — аналогов такого эксперимента не было и в ближайших космических миссиях не планируется. Это говорит о том, что эксперименты «Янус», которые должны были проводиться на лунном полярном спутнике еще в конце 1980-х гг., до сих пор не потеряли своей актуальности. Работа по этим экспериментам может возобновиться на новом уровне, например, в рамках какого-либо международного космического проекта исследования Луны.

- Кислюк В. С., Шкуратов Ю. Г., Яцків Я. С. Космічні дослідження Місяця: задачі, можливості і перспективи української науки і техніки // Космічна наука і технологія.—1996.—2, № 1—2.—С. 3—14.
- Adams J. B. Visible and near-infrared diffuse reflectance spectra of pyroxenes as applied to remote sensing of solid objects in the solar system // *J. Geophys. Res.*—1974.—79, N 32.—P. 4829—4836.
- Charette M. P., McCord T. B., Pieters C., Adams J. B. Application of remote spectral reflectance measurements to lunar geology classification and determination of titanium content of lunar soils // *J. Geophys. Res.*—1974.—79, N 11.—P. 1605—1613.
- Davies D. W., Johnson T. V., Matson D. L. Lunar multispectral imaging at 2.26 μm : First result // *Proc. Lunar Sci. Conf. 10th.* — Houston, 1979.—P. 1819—1828.
- Dollfus A., Bowell E. Polarimetric properties of the lunar surface and interpretation. I. Telescope observation // *Astron. and Astrophys.*—1971.—10.—P. 29—53.
- Dollfus A., Cailleux A., Hua C. T. Remote sensing of TiO_2 on planets and satellites // *Lunar and Planet. Sci. Conf. (abstr.)*. — Houston: LPI/USRA, 1979.—P. 303—305.
- Dollfus A., Deschamps M. Grain-size determination at the surface of Mars // *Icarus*.—1986.—67, N 1.—P. 37—50.
- Johnson J. R., Larson S. M., Singer R. B. Remote sensing of potential lunar resources. I. Near-side compositional properties // *J. Geophys. Res.*—1991.—96.—P. 18861—18882.
- Johnson T., Saunders R. S., Matson D. L., Mosher J. A. A TiO_2 abundance map for the northern maria // *Proc. Lunar Sci. Conf. 8th.* — Houston, 1977.—P. 1029—1036.

- Lucey P. G., Taylor G. I., Malaret E. Abundance and distribution of iron on the Moon // *Science*.—1995.—268.—P. 1150—1153.
- Moroz L. V., Fisenko A. V., Semjonova et al. Optical effects of regolith processes on S asteroids as simulated by laser shots on ordinary chondrite and other mafic materials // Abstracts of papers subm. to 22-nd Russian-American Microsymposium on Planetology, Oct., 1995, Moscow. — Moscow: Vernadsky Inst., 1995.—P. 65—66.
- Pieters C. Characterization of lunar mare basalt types — II: Spectral classification of fresh mare craters // *Proc. Lunar Sci. Conf. 8th.* — Houston, 1977.—P. 1037—1048.
- Pieters C. Mare basalt types on the front side of the Moon: A summary of spectral reflectance data // *Proc. Lunar Sci. Conf. 9th.* — Houston, 1978.—P. 2825—2849.
- Shkuratov Yu. G., Opanasenko N. V. Polarimetric and photometric properties of the Moon: Telescope observation and laboratory simulation. 2. The positive polarization // *Icarus*.—1992.—99.—P. 468—484.
- Shkuratov Yu. G., Opanasenko N. V., Kreslavsky M. A. Polarimetric and photometric properties of the Moon: Telescope observation and laboratory simulation. 1. The negative polarization // *Icarus*.—1992.—95.—P. 283—299.
- Shkuratov Yu. G., Starukhina L. V., Kreslavsky M. A., et al. Principle of undulatory invariance in photometry of atmosphereless celestial bodies // *Icarus*.—1994.—109.—P. 168—190.

**PROPOSALS ON THE EXPERIMENTS “JANUS”
ON BOARD A LUNAR POLAR SATELLITE**

*Yu. G. Shkuratov, D. G. Stankevych, Yu. V. Kornienko,
A. S. Kachanov, and V. I. Serbin*

Our experience in the development of optical experiments on board a lunar polar satellite is described. The main purpose of the experiments is global remote-sensing investigations of mineralogical, geochemical, and structural properties of the lunar surface in the range 0.2—2.5 microns with a spatial resolution of about 15 km. We propose to carry out the spectrophotometry of the Moon at small phase angles in 14 spectral bands which are most informative from the mineralogical standpoint. Polarization in the UV-range (0.2 microns) is to be measured at phase angles of about 90° to obtain information about regolith microstructure.