

УДК 523.44

**В. В. Прокофьева-Михайловская<sup>1</sup>, В. В. Бусарев<sup>2</sup>,  
Н. Н. Горькавый<sup>1</sup>, А. Н. Рублевский<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт «Крымская астрофизическая обсерватория»  
Министерства образования и науки Украины  
98409 Крым, Бахчисарайский район, пгт Научный  
prok@crao.crimea.ua, gorkavyi@yandex.ru, anr@crao.crimea.ua,

<sup>2</sup>Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ  
119992 Россия, Москва, Университетский пр. 13  
busarev@sai.msu.ru

**Реальность оценок размеров пятен  
на поверхностях астероидов,  
сделанных спектрально-частотным методом**

*Кратко описан новый спектрально-частотный метод (СЧМ) исследований поверхностей безатмосферных тел, позволяющий оценивать размеры пятен различной природы. Приведены результаты сравнения размеров пятен на поверхностях нескольких астероидов, определенных СЧМ, и размеров, полученных другими методами. Оценки размеров пятен на поверхности астероида 1620 Географ, полученные с помощью СЧМ, согласуются с размерами кратеров, определенными по данным радиолокации. Размеры гидросиликатных пятен на поверхности астероида 21 Лютеция СЧМ, подтверждаются размерами кратеров, полученных КА «Розетта». Размер голубого пятна на поверхности астероида 4 Веста, найденный с помощью СЧМ, совпадает с размером известного кратера на его южном полюсе. Сделан вывод о перспективности использования СЧМ, дающего правильные результаты оценок размеров пятен на астероидах.*

*РЕАЛЬНІСТЬ ОЦІНОК РОЗМІРІВ ПЛЯМ НА ПОВЕРХНЯХ АСТЕРОЇДІВ, ЗРОБЛЕНИХ СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСТОТНИМ МЕТОДОМ, Прокоф'єва-Михайловська В. В., Бусарев В. В., Горькавий М. М., Рублевський О. М. — Коротко описано новий спектрально-частотний метод (СЧМ) досліджень поверхонь безатмосферних тіл, що дозво-*

ляє оцінювати розміри плям різної природи. Наведені результати порівняння розмірів плям на поверхнях декількох астероїдів, отриманих СЧМ, і розмірів, отриманих іншими методами. Розміри плям на поверхні астероїда 1620 Географ, отримані за допомогою СЧМ, узгоджуються з розмірами кратерів, отриманих за даними радіолокації. Оцінки розмірів гідросилікатних плям на поверхні астероїда 21 Лютеція підтверджуються розмірами кратерів, отриманих КА «Розетта». Розмір блакитної плями на поверхні астероїда 4 Веста, знайдений за допомогою СЧМ, збігається з розміром відомого кратера на його південному полюсі. Зроблено висновок про перспективність використання СЧМ, що дає правильні результати оцінок розмірів плям на астероїдах.

*THE RELIABILITY OF ESTIMATES FOR SIZES OF SPOTS ON ASTEROID SURFACES WITH THE USE OF SPECTRAL-FREQUENCY METHOD, by Prokofieva-Mikhailovskaia V. V., Busarev V. V., Gorkavyyi N. N., Rublevskii A. N. — A new spectral-frequency method (SFM) for the study of solid body surfaces is briefly described. The method allows us to estimate sizes of asteroid spots of different nature. We compare and discuss the estimates for asteroid spot sizes obtained through the SFM and other methods. The sizes of spots on the surface of asteroid 1620 Geographos which are determined using the SFM are in good agreement with the crater sizes obtained from radar data. The sizes of hydrosilicate spots on the surface of asteroid 21 Lutetia which are found through the SFM agree with the crater sizes determined with the Rosetta spacecraft. The size of a blue spot on the surface of asteroid 4 Vesta which is found using the SFM is consistent with the size of the known crater on the south pole of the asteroid. We can conclude that the SFM is a promising method for the estimation of sizes of spots on asteroid surfaces.*

## ВВЕДЕНИЕ

Исследование отраженного и рассеянного солнечного излучения несет информацию о структуре и составе вещества поверхностей твердых безатмосферных тел Солнечной системы. Когда на поверхности тела имеются некоторые детали с разными законами рассеяния, то такое тело при вращении осуществляет модуляцию (спектральную или интегральную) светового потока, отражаемого в направлении наблюдателя всей наблюдаемой полусферой астероида.

Кратковременные изменения на кривых блеска астероидов наблюдаются давно [2]. В книге [15] приведена формула для определения размера детали  $L$ , вызвавшей такое изменение:

$$L = D \sqrt{t / P_{rot}}, \quad (1)$$

где  $D$  — диаметр астероида,  $t$  — длительность регистрации детали на кривой блеска,  $P_{rot}$  — период вращения астероида.

Авторы спектрально-частотного метода (СЧМ) заменили величину  $t$  величиной  $p/2$ , где  $p$  — величина найденного при частотном анализе периода изменения яркости, либо эквивалентной ширины полосы поглощения, либо показателя цвета астероида [5]. Формула (1) при этом примет вид

$$L = Dp / 2P_{rot}. \quad (2)$$

Для доказательства возможности использования формулы (2) и частотного анализа данных вместо применения формулы (1) в НИИ «КрАО» было проведено определение размеров деталей по одним и тем же данным наблюдений с использованием обеих формул [6, 10]. Анализировались внеатмосферные показатели цвета  $V-R$ , полученные по спектральным наблюдениям астероида 4 Веста. Точность оценок длительности видимости детали по формуле (1) составила 10—15 %. Найденные по формуле (1) оценки размеров деталей совпали со значениями, найденными при использовании СЧМ. Однако количество определений методом СЧМ было в три раза больше. Сделан вывод, что СЧМ дает уверенные результаты и большее число найденных размеров деталей, чем использование формулы (1).

Малые тела примитивного состава мигрируют с окраин Солнечной системы в направлении Солнца [7] и попадают в пояс астероидов. С одной стороны, при соударениях подобных тел с астероидами выбрасывается эжекта, которая частично оседает около места соударения. С другой стороны, вследствие высокой подвижности пылевой фракции реголита при соударениях тел, она скапливается в низменностях, образуя пятна на астероидах. При определенном световом фазовом угле детали поверхности вращающегося астероида могут значительно увеличивать свою яркость в направлении на наблюдателя благодаря действию закона обратного когерентного рассеяния.

На рис. 1 приведена фотография поверхности Луны, полученная с КА «Клементина», находящегося на окололунной орбите [33]. На

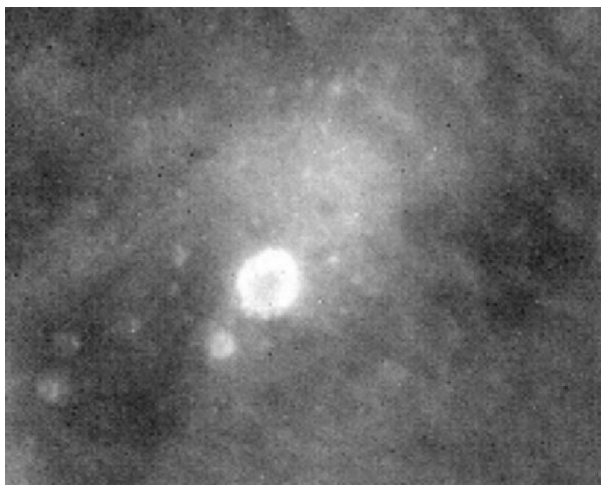


Рис. 1. Снимок, полученный космическим аппаратом «Клементина» с окололунной орбиты (фильтр 415 нм)

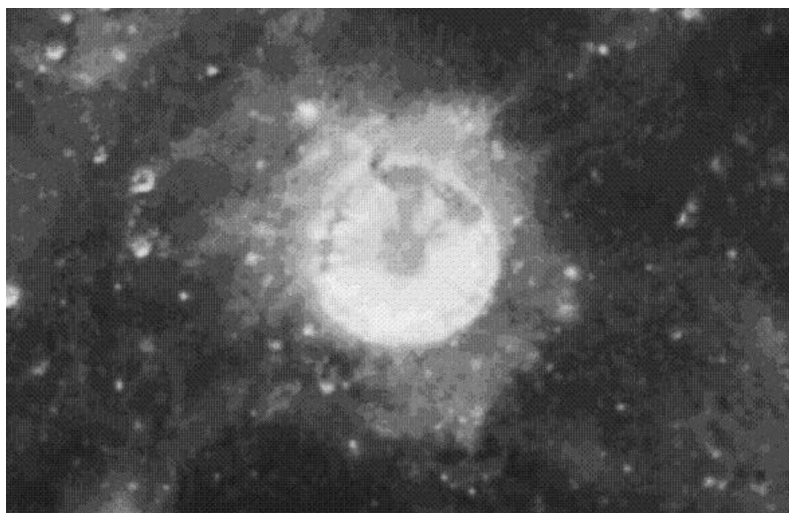


Рис. 2. Кратер 21 на Луне с диаметром в 11 км и минимальным размером диаметра эжекты в 22 км (<http://www.google.com/moon>)

снимке выделяется яркий кратер, локальный фазовый угол которого во время съемки был близок к нулевому.

Более подробно возможные механизмы образования регистрируемых нами пятен описаны в публикациях [18, 21]. Плотность эжекты, осевшей на поверхность астероида при падении на него какого-либо тела (метеорита), плавно уменьшается с удалением от места падения. Сделан вывод, что размер пятна эжекты может быть в 2—20 раз больше размера кратера. В случае непрочного силикатно-ледяного ударника, который сталкивается с прочным железо-каменным астероидом, энергия столкновения будет израсходована на дробление самого падающего тела, эжекта будет состоять из материала ударника, и размер пятна будет определяться размером метеорита.

Поскольку амплитуда модуляции кривых блеска астероидов составляет всего несколько процентов, можно предположить, что мы регистрируем только сигнал от самой яркой части осевшей на астероид эжекты. Она может лишь незначительно превосходить размер кратера. Примером такого образования может быть пятно около кратера 21 на Луне (см. рис. 2).

#### МЕТОДИКА ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНО-ЧАСТОТНОГО МЕТОДА

Кратко опишем методику спектрофотометрических наблюдений, используемую в НИИ «КрАО» на цифровом телевизионном комплексе полуметрового менискового телескопа МТМ-500 [3]. Передающая камера с суперизоконом ЛИ804 установлена в фокусе кудэ [1, 14]. Сис-

тема воздушного охлаждения передающей телевизионной трубки поддерживает температуру трубки во время наблюдений около 0 °С. В ЭВМ производится суммирование интенсивностей спектров, зарегистрированных на нескольких сотнях телевизионных кадров. Результат записывается в память ЭВМ.

Телескоп оборудован афокальным бесщелевым спектрографом с прозрачными дифракционными решетками. Решетки имеют 100, 150 и 200 штр/мм и обеспечивают разрешение 6, 4 и 3 нм. Линзы с решетками укреплены в окнах турели. Свободное окно турели позволяет производить отождествление исследуемого объекта. Все записи спектров объектов имеют энергетическую калибровку. Наблюдения спектров звезд-стандартов позволяют следить за спектральной экстинкцией земной атмосферы и определять абсолютное внеатмосферное распределение энергии в спектрах астероидов.

Использование звезд-стандартов солнечного типа при спектрофотометрических наблюдениях астероидов позволяет рассчитать их спектры отражения [5]. При использовании СЧМ рассчитываются ряды «вторичных» данных — значений эквивалентной ширины полосы поглощения или показателя цвета (так называемого «синтетического» показателя цвета), которые подвергаются частотному анализу. Использование значений эквивалентных ширин минералогических полос поглощения в спектрах отражения астероидов, занимающих десятки каналов регистрации, позволяет иметь внутреннюю точность, которая в несколько раз превышает точность относительных измерений интенсивностей спектра в каналах. Высокая точность обеспечивает регистрацию периодичностей с малыми амплитудами.

Перед началом поиска периодов из данных удаляются их изменения, связанные с периодом вращения астероида, которые в основном определяются формой астероида. Затем производится частотный анализ и отбеливание данных за найденные частоты в порядке уменьшения амплитуды периодических колебаний. При вычитании найденной частоты из данных удаляются колебания не только с этим периодом, но и все его гармоники и сопряженные с ним периоды [13]. Как показывает опыт, можно обнаружить до двух десятков периодов. За критерий достоверности найденного периода принято отношение амплитуды колебаний к погрешности ее определения не менее 3. После вычитания найденных частот величина амплитудного спектра уменьшалась в несколько раз [6].

В качестве иллюстрации на рис. 3 приведены спектры, полученные в начале поиска (*a*), и после удаления 15 найденных периодов (*b*) изменения эквивалентной ширины полосы поглощения гидросиликатов с центром  $\lambda = 0.44$  мкм. Амплитуды спектра в среднем уменьшились в семь раз, а точность определения амплитуды колебаний улучшилась в пять раз.

Опыт работы по исследованию размеров различных пятен на поверхности астероидов позволил сформулировать требования к наблю-

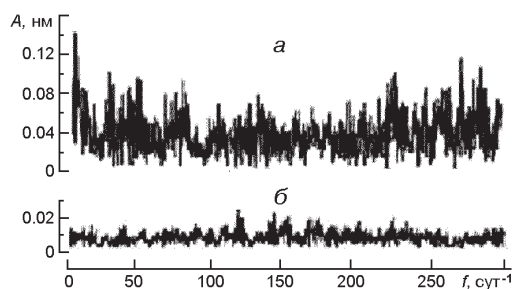


Рис. 3. Амплитудный спектр, полученный по данным эквивалентных ширин полосы поглощения 0.44 мкм в спектре Весты (а) и после вычитания 15 найденных периодов (б) по данным [11]. По оси абсцисс — частота  $f$  (циклов в сутки), по оси ординат — амплитуда  $A$  колебаний эквивалентной ширины полосы поглощения

дательному материалу, используемому для оценки размеров спектральных пятен на поверхностях астероидов (см. [10, 11, 28]).

Необходимо отметить, что при оценках размеров пятен на астероидах с помощью СЧМ мы делали следующие упрощающие предположения: 1) эти тела имеют сферическую форму; 2) пятна на их поверхности расположены в экваториальной зоне. В случае известных деталей, например на поверхности астероида 4 Веста, делался перерасчет найденного размера на местоположение известного кратера на южном полюсе Весты.

СЧМ позволяет наземными средствами получать информацию о размерах деталей на поверхностях астероидов и других вращающихся и освещенных солнечным светом небесных тел, наблюдаемых как точечный объект.

#### СРАВНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ДЕТАЛЕЙ НА ПОВЕРХНОСТЯХ ТРЕХ АСТЕРОИДОВ, НАЙДЕННЫХ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Спектрально-частотный метод был использован для изучения поверхностей нескольких астероидов. Сравнение оценок размеров деталей, сделанных этим методом, с данными других методов приведено ниже.

**Астероид 1620 Географ (Geographos)** принадлежит к группе астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Его размеры 5.2 × 2.0 × 1.8 км. В НИИ «КрАО» он наблюдался на разных телескопах в сентябре — октябре 1994 г. во время очередного сближения с Землей. По фотометрическим оценкам блеска в полосе  $V$  в первичном и вторичном максимумах с помощью частотного анализа были сделаны оценки размеров неоднородностей, находившихся на двух его сторонах. Была обнаружена крупная деталь размером 1—1.2 км на одной стороне астероида и несколько деталей размером 150—100 м на другой [8]. Сравнение полученных размеров деталей было сделано с данными о размерах кратеров, определенными из радиолокационных наблюдений астероида [26]. Согласие данных получено хорошее, что позволило разработать спектрально-частотный метод определения размеров пятен, находящихся на поверхностях астероидов [5].

**Астероид 21 Лютеция (Lutetia)** является астероидом, открытым 15 ноября 1852 г. астрономом-любителем Г. Гольдшмидтом. Он имеет спектральный тип М согласно Толену [31] или тип С (<http://ru>).

wikipedia.org/wiki/(21). Диаметр астероида — 100 км [30], а период вращения  $P = 8.172^h$  [24, 25]. Согласно недавним исследованиям его размеры 132 — 76 км (<http://lenta.ru/news/2010/03/11/asteroid/>). Астероид расположен во внутренней части Главного пояса астероидов. В его спектрах была обнаружена полоса поглощения 0.44 мкм с относительной интенсивностью до 10 %, приписываемая гидросиликатам типа серпентина [17, 19]. Вероятно, этот астероид проходил фазу магматического плавления при температурах 1000—1500 °С.

Спектральные наблюдения астероида 21 Лютеция были проведены осенью 2000 г. на 1.25-м рефлекторе с ПЗС-спектрометром в Крымской лаборатории ГАИШ МГУ и в НИИ КрАО на МТМ-500 [3, 4]. В НИИ КрАО было получено около 50 спектров 21 Лютеции и столько же спектров солнечного аналога HD10307 (G2V) и региональных стандартов с разрешением 4 и 3 нм [9]. В течение ночи в спектре отражения Лютеции были обнаружены быстрые изменения эквивалентной ширины полосы поглощения  $y = 0.44$  мкм, вызываемой (как показали исследования образцов-аналогов [17, 19]) наличием  $Fe^{3+}$  в гидросиликатах на поверхности астероида. Наличие гидратированных материалов на поверхности Лютеции независимым образом подтверждается ИК-данными в области 3 мкм [29]. Это свидетельствует о высокой неоднородности вещества астероида и о наличии на его поверхности пятен гидросиликатов. Частотный анализ величин эквивалентной ширины полосы поглощения позволил сделать оценки размеров пятен гидросиликатов. В предположении, что диаметр астероида составляет 100 км, были найдены восемь пятен с размерами 73, 41, 37, 34, 33, 30, 15 и 12 км.

КА «Розетта» 10 июля 2010 г сблизился с астероидом до расстояния 3162 км на скорости 15 км/с и получил в течение одной минуты его снимки ([http://www.esa.int/esaMI/Rosetta/SEM44DZOFBG\\_1.html#subhead9](http://www.esa.int/esaMI/Rosetta/SEM44DZOFBG_1.html#subhead9)). На фотографиях отчетливо видна поверхность астероида, покрытая многочисленными кратерами. Четыре снимка приведены на рис. 4. В предположении размера астероида около 100 км мы определили размеры кратеров на снимках. Виден один большой кратер диаметром около 70 км, три кратера размером 30, 25 и 22 км, два размера 9 и 10 км и много мелких кратеров. Сравнение этих данных с данными, полученными с помощью СЧМ, показывает, что на поверхности астероида имеется один крупный кратер, и его размер практически совпадает с размером, определенным при наземных наблюдениях. Три кратера средних размеров находятся на одной стороне астероида. Их размеры примерно на 10 % меньше размеров пяти кратеров, найденных с помощью СЧМ. Из огромного числа мелких кратеров СЧМ позволил зарегистрировать всего два размера, которые примерно на 10—15 % превосходят размеры двух имеющихся на фотографиях кратеров.

Таким образом, сравнение данных наземных наблюдений с применением СЧМ с данными, полученными КА «Розетта», показали хорошее согласие результатов.



Рис. 4. Фотографии астероида 21 Лютеция, полученные 10 июля 2010 г. КА «Розетта» ([http://www.esa.int/esaMI/Rosetta/SEM44DZOFBG\\_1.html#subhead9](http://www.esa.int/esaMI/Rosetta/SEM44DZOFBG_1.html#subhead9))

**Астероид 4 Веста (Vesta)** является объектом исследований с борта космического аппарата «Dawn». Его сближение с астероидом и выход на орбиту около него планируется в 2011 г. КА Dawn передаст снимки поверхности астероида с высоким разрешением (<http://grani.ru/Society/Science/m.127901>).

В работе [22] получены спектры астероида Веста в области  $\lambda = 3$  мкм на горе Мауна Кеа в течение двух ночей (1 и 2 марта 2003 г.) и сделан вывод, что между долготами 155° и 195° на поверхности астероида имеются ОН-содержащие соединения. Авторы считают, что эти образования могут быть выбросами, образовавшимися при косом ударе примитивного тела [27]. Ударник мог содержать гидратированные СМ2-хондриты, рассеяние которых по поверхности астероида, прошедшего магматическое плавление, вероятно, и вызывает в спектре отражения астероида полосу поглощения около 3 мкм. Магматическое происхождение 4 Весты считается практически доказанным, поскольку с помощью телескопа им. Хаббла на ее поверхности обнаружены застывшие базальтовые лавовые потоки [32]. Кроме того, на Земле найдены базальтовые НED-метеориты, спектральные характеристики которых практически идентичны характеристикам поверхности Весты, и которые могут быть ее осколками [20].



Для исследования наличия гидросиликатов и оценки размеров пятен были использованы спектры астероида, полученные В. В. Бочковым за короткий промежуток времени 2, 3, 4 и 7 февраля 2002 г. [11]. Цифровые записи спектров астероида были выполнены с помощью телевизионной аппаратуры и бесщелевого афокального спектрографа на телескопе МТМ-500. Спектральное разрешение составляло около 4 нм, время экспозиции — 30 с. По спектрам отражения были вычислены величины эквивалентной ширины полосы поглощения гидросиликатов  $y = 0.44$  мкм. Оказалось, что на долготах  $155\text{—}195^\circ$  действительно имеются максимальные значения этой полосы [11].

Применение СЧМ с последовательным отбеливанием данных за найденные периоды позволило найти 16 независимых периодов, по величине которых были определены размеры гидросиликатных пятен на поверхности астероида 4 Веста. Оценки показали, что преимущественно имеются размеры от 50 до 13 км. Есть только два крупных пятна около 700—800 км. Прокофьевой-Михайловской и др. [11] сделано предположение, что крупные размеры соответствуют скоплениям мелких пятен возле известного кратера, расположенного в южном полушарии астероида. На основании сравнения с кратерной статистикой на других телах Солнечной системы [12] сделан вывод, что гидросиликатные пятна могут быть образованиями относительно молодыми.

Размеры цветowych пятен на поверхности астероида 4 Веста определялись по синтетическим показателям цвета  $B - V$  и  $V - R$ , вычислен-

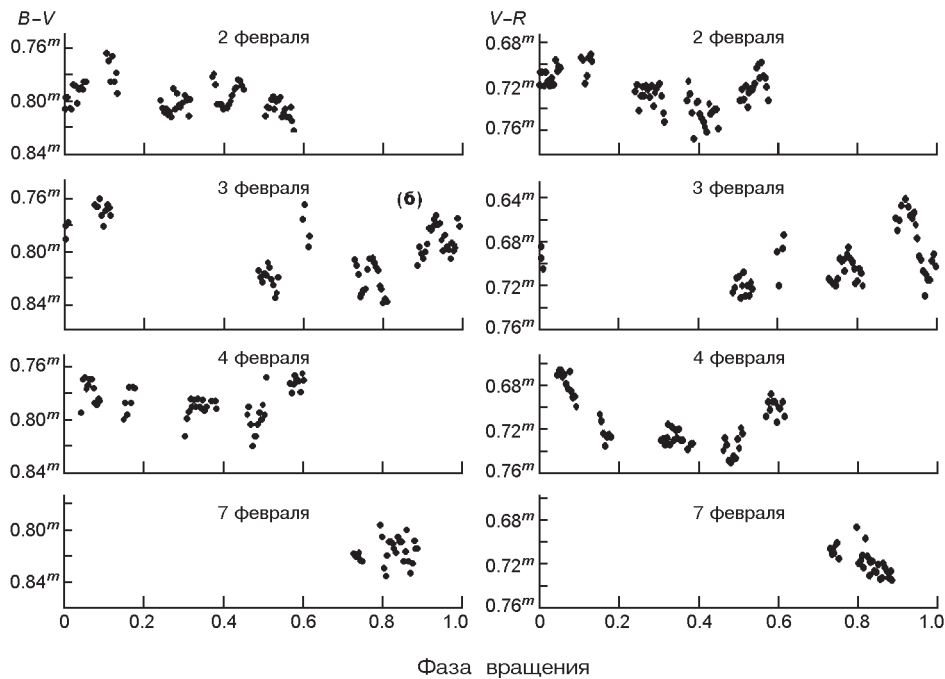


Рис. 5. Значения усредненных показателей цвета  $B - V$  (слева) и  $V - R$  (справа) астероида 4 Веста в зависимости от фазы вращения астероида для четырех ночей наблюдений 2002 г.: 2 февраля (JD 2452308d), 3 февраля (JD 2452309d), 4 февраля (JD 2452310d) и 7 февраля (JD 2452313d). Нулевая фаза соответствует моменту JD = 2452308.19058<sup>d</sup>

ным по внеатмосферным спектрам астероида, полученным В. В. Бочковым в феврале 2002 г. [10]. Квантовый поток обеспечивал внутреннюю погрешность измерений в полосах  $B$ ,  $V$  и  $R$  порядка 0.01 %. В каждой из спектральных полос находилось более сотни телевизионных каналов, а точность измерения интенсивности спектра в отдельном канале составляла около 1 %.

Таким образом, внутренняя точность измерений синтетических показателей цвета достигала  $\pm 0.001^m$ . Отметим также, что показатели цвета  $B - V$  и  $V - R$  Весты свободны от влияния экстинкции земной атмосферы, так как величины  $B$ ,  $V$  и  $R$  наблюдались одновременно. Отметим, что приведенные на рис. 5 показатели цвета  $B - V$  и  $V - R$ , показывают быстрые изменения с амплитудой до 10 %, что согласуется с данными, приведенными в работе [2].

Был произведен поиск периодов, по величине значительно меньших периода вращения астероида, причем каждый раз производилось отбеливание данных за найденный период. Были найдены 20 размеров пятен в длинноволновой области спектра и 19 — в коротковолновой. Наименьший размер пятна составил около 9 км. Отчетливо выделился в синей области спектра известный размер кратера в южном полушарии астероида. Определение его диаметра на широте  $45^\circ$  показало полное согласие результатов СЧМ и определения диаметра кратера, сделанное с космического телескопа им. Хаббла.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Малые тела Солнечной системы — астероиды, спутники планет, кометы, метеороиды, космическая пыль — находятся в постоянном взаимодействии. У некоторых астероидов ГПА, как у комет, наблюдается выделение летучих веществ [23], а многие ядра потухших комет неотличимы от астероидов. Метеорные потоки, состоящие из микрометеоритов и пыли, могут иметь как кометное, так и астероидное происхождение.

Характерными последствиями ударных событий на поверхности твердых безатмосферных небесных тел являются образование кратеров и выброс вещества на поверхность тела вблизи кратера. Выброшенное при ударе вещество частично оседает около места соударения, а частично рассеивается в космическом пространстве. Оставшаяся на поверхности астероида эжекта со временем подвергается действию космогенных факторов, измельчается до пыли и может перемещаться по поверхности астероида. В течение миллионов лет подвижность мелкой фракции реголита привела к ее концентрации в наиболее глубоких местах поверхностей астероидов в результате их сотрясений во время столкновения с другими малыми телами. На таких астероидах могли образоваться однородные площадки из вещества примерно одного состава с близкими физическими, химико-минералогическими, и

следовательно, фотометрическими и спектральными параметрами. В. В. Бусаревым сформулирована гипотеза о том, что «доставка» гидросиликатов на поверхность астероидов, прошедших магматическое плавление, обеспечивается столкновениями с телами более примитивного состава [4, 16].

Для оценки размеров подобных деталей на поверхностях безатмосферных небесных тел нами разработан и опробован спектрально-частотный метод (СЧМ). Опыт сравнения данных, полученных разными методами, в том числе и космическими аппаратами, показал, что СЧМ применим к исследованию размеров химико-минералогических особенностей на поверхности астероидов. Большое количество определений размеров пятен разного типа позволяет применять элементы статистики и делать предположения о возрасте различных образований на поверхностях тел Солнечной системы.

Применение СЧМ для определения размеров пятен различных типов на поверхностях трех астероидов и сравнение этих размеров с данными, полученными с помощью радиолокации и при фотографировании тел с борта космических аппаратов, позволяет сделать вывод о перспективности использования СЧМ для дистанционных исследований поверхностей малых планет и спутников.

1. *Абраменко А. Н., Агапов Е. С., Анисимов В. Ф. и др.* Телевизионная астрономия / Под ред. В. Б. Никонова. — 2-е изд. — М.: Наука, 1984.—272. с.
2. *Акимов Л. А., Лушичко Д. Ф., Бельская И. Н.* О фотометрической неоднородности поверхностей астероидов // *Астрон. журн.*—1983.—**60**, № 5.—С. 999—1004.
3. *Бочков В. В., Прокофьева В. В., Абраменко А. Н.* Спектрофотометрические наблюдения астероидов в Крымской астрофизической обсерватории // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.*—2002.—**98**.—С. 136—149.
4. *Бусарев В. В.* Гидратированные силикаты на астероидах М-, S- и E- типов как возможные следы столкновений с телами из зоны роста Юпитера // *Астрон. вестн.*—2002.—**36**, № 1.—С. 39—47.
5. *Бусарев В. В., Прокофьева-Михайловская В. В., Бочков В. В.* Спектральный и спектрально-частотный методы исследования безатмосферных тел Солнечной системы // *Успехи физ. наук.*—2007.—**177**, № 6.—С. 663—675.
6. *Бусарев В. В., Прокофьева-Михайловская В. В., Рублевский А. Н.* Разработка и применение спектрально-частотного метода для исследований поверхностей безатмосферных тел // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.*—2009.—**104**, № 6.—С. 95—102.
7. *Ипатов С. И.* Миграция небесных тел в Солнечной системе. Монография. Киев: Эдиториал УРСС, 2000.—320 с.
8. *Карачкина Л. Г., Прокофьева В. В., Таращук В. П.* Исследование модуляции блеска астероида 1620 Географ // *Астрон. вестн.*—1998.—**32**, № 4.—С. 327—339.
9. *Прокофьева В. В., Бочков В. В., Бусарев В. В.* Исследование структуры поверхности М-астероида 21 Лютеция спектральным и частотным методами // *Астрон. вестн.*—2005.—**39**, № 5.—С. 457—468.
10. *Прокофьева-Михайловская В. В., Рублевский А. Н., Бочков В. В.* Размеры цветных пятен на поверхности астероида 4 Веста // *Астрон. вестн.*—2008.—**42**, № 6.—С. 540—556.

11. Прокофьева-Михайловская В. В., Рублевский А. Н., Бочков В. В. Водные соединения на поверхности астероида 4 Веста // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.— 2008.—**104**, № 1.—С. 218—228.
12. Скобелева Т. П. Исследования кратеров с пересекающимися валами на Луне, Марсе и Меркурии // Астрон. вестн.—1987.—**21**, № 3.—С. 221—224.
13. Теребиж В. Ю. Анализ временных рядов в астрофизике. — М.: Наука, 1992.— 290 с.
14. Abramenko A. N., Bochkov V. V., Prokofjeva V. V. Facilities of small telescopes // Proc. SPIE.—2000.—**4008**.—P. 866—874.
15. Burns J. A., Tedesco E. F. Asteroid light curves: results for rotations and shapes // Asteroids I / Ed. T. Gehrels. — Tucson: Univ. Arizona Press, 1979.—P. 494—527.
16. Busarev V. V. Spectral features of M-asteroids: 75 Eurydike and 201 Penelope // Icarus.—1998.—**131**, N 1.—P. 32—40.
17. Busarev V. V., Bochkov V. V., Prokof'eva V. V., Taran M. N. Characterizing 21 Lutetia with its reflectance spectra // The new ROSETTA targets / Eds L. Colangeli, et al. — Kluwer Acad. Publs, 2004.— P. 7983.
18. Busarev V. V., Prokofjeva-Michailovskaya V. V., Rublevskiy A. N. Spots on asteroids as an evidence of falls of small primitive bodies // Protecting the Earth against collisions with asteroids and comet nuclei / Eds A. M. Finkelstein, W. F. Huebner, V. A. Shor. — St. Petersburg: Nauka, 2010.—P. 43—45.—(Proc. Intern. Conf. ACH-2009, St. Petersburg, 21—25 Sept. 2009).
19. Busarev V. V., Taran M. N., Fel'dman V. I., Rusakov V. S. Possible spectral signs of serpentines and chlorites in reflectance spectra of celestial solid bodies // Vernadsky Institute — Brown University Microsimposium 40th. — Moscow, 2004.—Abstr. N 15.
20. Gaffey M. J. Surface lithologic heterogeneity of asteroid 4 Vesta // Icarus.—1997.—**127**.—P. 130—157.
21. Gorkavyj N. N., Rublevskiy A. N., Prokofjeva-Mihajlovskaja V. V. The sizes of impact craters and eject spots on asteroids // Protecting the Earth against collisions with asteroids and comet nuclei / Eds A. M. Finkelstein, W. F. Huebner, V. A. Shor. — St. Petersburg: Nauka, 2010.—P. 43—45.—(Proc. Intern. Conf. ACH-2009, St. Petersburg, 21—25 Sept. 2009).
22. Hasegawa S., Murakawa K., Ishiguro M., et al. Evidence of Hydrated and/or hydroxylated minerals on the surface of asteroid 4 Vesta // Geophys. Res. Lett.—2003.—**30**, N 21.—P. 2123—2126.
23. Hsieh H. H., Jewitt D. A population of comets in the main asteroid belt // Science.— 2006.—**312**.—P. 561—563.
24. Michalowski T. Poles, shapes, senses of rotation, and siderial periods of asteroids // Icarus.—1993.—**106**.—P. 563—572.
25. Michalowski T. Pole and shape determination for 12 asteroids // Icarus.—1996.—**123**, N 2.—P. 456—462.
26. Ostro S. J., Jurgens R. F., Rosema K. D., et al. Radar observations of asteroid 1620 Geographos // Icarus.—1996.—**121**, N 1.—P. 46—66.
27. Pierazzo E., Melosh H. J. Hydrocode modeling of oblique impacts: The fate of the projectile // Meteorit. Planet. Sci.—2000.—**35**.—P. 117—130.
28. Prokofjeva-Mikhailovskaja V. V., Rublevskij A. N. Investigation of surfaces of atmosphereless bodies using scattered solar light // Odessa Astr. Publ.—2007.—**20**, Part 2.—P. 107—109.
29. Rivkin A. S., Hovell L. A., Lebovski L. A., et al. The nature of M-class asteroids from 3 m observations // Icarus.—2000.—**145**.—P. 351—368.
30. Tedesco E. F., Williams J. G., Matson D. L., et al. Three parameter asteroid taxonomy

- classification // Asteroids II / Eds R. P. Binzel, T. Gehrels, M. S. Matthews. — Tucson: Univ. Arizona Press, 1989.—P. 1151—1161.
31. *Tholen D. J.* Asteroid taxonomic classifications // Asteroids II / Eds R. P. Binzel, T. Gehrels, M. S. Matthews. — Tucson: Univ. Arizona Press, 1989.—P. 1139—1150.
32. *Thomas P. C., Binzel R. P., Gaffey M. J., et al.* Vesta: Spin pole, size, and shape from HST images // *Icarus*.—1997.—**128**.—P. 88—94.
33. *Zubko E., Shkuratov Y., Mishchenko M., Videen G.* Light scattering in a finite multi-particle system // *J. Quant. Spectrosc. Rad. Transfer*.—2008.—**109**.—P. 2195—2206.

Поступила в редакцию 01.10.10