

INVESTIGATIONS OF SURFACES OF ATMOSPHERELESS
BODIES USING SCATTERED SOLAR LIGHT
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ БЕЗАТМОСФЕРНЫХ
ТЕЛ ПО РАССЕЯННОМУ ИМИ СОЛНЕЧНОМУ
ИЗЛУЧЕНИЮ

V.V.Prokofjeva Mikhailovskaja, A.N.Rublevskiji

Scientific research institute Crimean Astrophysical Observatory
Nauchny, Crimea 98409, Ukraine, *prok@crao.crimea.ua*

ABSTRACT. Sunlight scattered by surfaces of atmosphere less bodies carry information about details of these surfaces. Burns and Tedesco in 1979 published formula for estimations of dimensions of details located on surfaces of asteroids. Authors of this paper show that using of frequency methods for analysing of light curves or curves of colour index allows receiving of optimal information. Experiments confirm this statement. Estimations of dimensions of details located on the surface of the asteroid 1620 Geographos are in good agreements with facts receiving with radar observations. Analysis of synthetic colour indexes B-V and V-R of the asteroid 4 Vesta show estimations of dimensions of colour spots on its surface in the interval 660-9 km. Conclusion are made that investigations of high frequency modulations of light curves or curves of colour indexes of asteroids allow us to receive information about dimensions of details on its surfaces. Key words: asteroids, colour spots, frequency analysis.

АННОТАЦИЯ. Рассеянное поверхностями безатмосферных тел солнечное излучение несет информацию о деталях этих поверхностей. Burns and Tedesco в 1979г. опубликовали формулу, по которой можно оценить размеры деталей на поверхности астероида. Авторы настоящей работы показывают, что применение метода частотного анализа кривых блеска или показателей цвета астероидов позволяет получить нужную информацию. Опыт работы подтверждает это. Оценки размеров деталей поверхности астероида 1620 Географ хорошо согласуются с данными радиолокации. Анализ синтетических показателей цвета B-V и V-R астероида 4 Веста дал оценки размеров цветовых пятен на его поверхности в интервале от 660 км до 9 км. Сделан вывод, что исследования высокочастотной модуляции кривых блеска и цвета

астероидов позволяют получать информацию о размерах деталей на их поверхностях.

Круг интересов В.П. Цесевича был необыкновенно широк. Его интересовали также и проблемы исследования тел солнечной системы. Эти вопросы он неоднократно обсуждал с сотрудниками Института теоретической астрономии. В книге "Что и как наблюдать на небе" он рассматривает задачу исследования физических свойств астероидов (Цесевич, 1979. стр. 158) и отмечает, что наиболее интересными астероидами, дающими при вращении амплитуды блеска более одной звездной величины, являются два небольших астероида 1620 Географ и 433 Эрос. Цесевич приводит также диаметры наиболее ярких астероидов Цереры, Паллады, Весты. Наше направление коснулось двух из указанных Цесевичем астероидов: Весты и Географа.

Поверхности малых тел Солнечной системы определяются как шероховатые или сильно шероховатые. Солнечный свет практически падает на их поверхность параллельным пучком. Плоский фронт волны разбивается этими поверхностями на множество мелких участков, каждый из которых имеет свое направление в пространстве. Исследование рассеянного солнечного излучения несет информацию о свойствах поверхностей этих тел.

Поглощение и рассеяние света поверхностями безатмосферных тел могут обнаруживать сильную зависимость от длины волны. Результатом является изменение спектрального состава диффузно отражённого света, что воспринимается как окраска рассеивающей поверхности или ее деталей. Современные исследования показали, что изменение окраски связано с возрастом рассеивающих свет безатмосферных поверхностей (Ivezic и др., 2002; Jedicke и др., 2004). Поэтому исследования показателей цвета

рассеянного света дает ключ к оценке их возраста.

Мы предполагаем, что наличие деталей на кри-вых блеска и цвета обусловлено разным количеством отраженного и рассеянного света деталями поверхности в разных направлениях. Если работает закон когерентного обратного рассеяния света, что очень вероятно, то в некоторые моменты времени при вращении астероида деталь его поверхности может увеличивать свою яркость в направлении наблюдателя. Это увеличение может достигать 2-х раз (Кузьмин, Романов, 1996). Если таких деталей на астероиде много, то при его вращении количество света, направленного в сторону земного наблюдателя, становится переменным во времени. Модуляция эта невелика по величине и составляет порядка нескольких сотых звездной величины. Однако современные средства наблюдений вполне уверенно регистрируют такие величины. Отметим, что проводить исследования такой модуляции можно только по наблюдениям, полученным практически при одних условиях освещения исследуемого тела Солнцем. Для астероидов можно использовать наблюдения, полученные подряд в течение нескольких соседних по времени ночей.

Определение длительности кратковременного увеличения или уменьшения блеска астероида может быть использовано для оценки размера детали на поверхности астероида по формуле, приведенной в книге "Астероиды I" (Burns and Tedesco, 1979):

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot \Delta t}{Prot}, \quad (1)$$

где L - размер детали поверхности, D - диаметр астероида, Δt - длительность регистрации детали на кривой блеска, $Prot$ - период вращения астероида. Для оценок размеров деталей на поверхностях астероидов 1620 Географ, 21 Лютетия и 4 Веста были использованы широко развитые методы частотного анализа. (Карачкина и др. 1998; Прокофьева и др. 2005; Бусарев и др. 2007). По данным фотометрии астероида 1620 Географ (размер 4×1.5 км), полученным в первичном и вторичном максимумах блеска во время его сближения с Землей в 1994 г., были сделаны оценки размеров неоднородностей его поверхности. Они показали наличие крупной детали размером 1-1.2 км на одной стороне астероида и более мелких, размером до 150-100 м. на другой. Оценки размеров хорошо согласуются с данными радиолокации и размере кратеров.

Частотный анализ эквивалентной ширины гидросиликатной полосы, расположенной на длине волны 440 нм в спектрах астероида 21 Лютетия, позволил оценить размеры гидросиликатных пятен на его поверхности. Преимущественные размеры пятен составили 30-40 км, что позволило сделать вывод об их сравнительно молодом возрасте.

Анализ показателей цвета $B-V$ и $V-R$, получен-

ных при наблюдениях астероида 4 Веста в 2002 г., позволил сделать 19 и 20 оценок размеров цветных пятен на его поверхности вплоть до размера 9 км. Явно проявился в коротковолновой области спектра известный кратер, расположенный в южном полушарии астероида на широте 45° , который был обнаружен при наблюдениях астероида с помощью космического телескопа им. Хаббла.

С использованием методов частотного анализа с последовательным отбеливанием данных за найденные периоды, были полученные оценки размеров деталей на поверхностях трех астероидов, которые хорошо согласуются с размерами известных деталей.

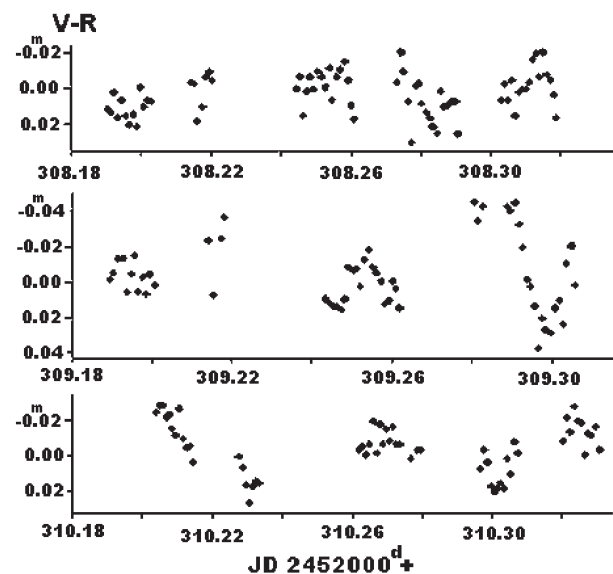


Рис. 1: Значения усредненных данных показателя цвета $V-R$ астероида 4 Веста, полученных после вычитания периода вращения астероида, в зависимости от времени, выраженного в долях JD , для трех ночей наблюдений 2002 года (сверху вниз): 2 февраля ($JD\ 2452308^d$), 3 февраля ($JD\ 2452309^d$) и 4 февраля ($JD\ 2452310^d$).

Для доказательства правомочности использования методов частотного анализа вместо предложенной в 1979 г. формулы (1) для определения размеров деталей на поверхностях астероидов мы приводим ниже результаты анализа двумя указанными методами колориметрических данных, полученных при спектрофотометрических наблюдениях астероида 4 Веста. Анализ проведен как по формуле (1), так и частотным методом с последовательным отбеливанием данных. На кривых (см. рис.1) приведены данные, полученные по усредненным значениям показателя цвета $V-R$, из которых вычтен период вращения астероида. В моменты отсутствия данных колориметрии астероида наблюдались звездные стан-

Таблица 1: Сравнение данных о размерах деталей на поверхности астероида 4 Веста, зарегистрированных в длинноволновой области спектра по показателям цвета V-R и полученных двумя разными методами. В первом столбце приведен номер в порядке возрастания размера, во втором - данные, полученные по формуле (1), в третьем - данные, полученные с помощью частотного анализа наблюдений.

| NN По порядку | Размер деталей, в километрах | |
|------------------|------------------------------|--------------------|
| | По форм. (1) | По частот. анализу |
| 1 | 225 | 240 |
| 2 | 85 | 85 |
| 3 | 70 | 71 |
| 4 | 62 | 57 |
| 5 | 54 | 53 |
| 6 | 39 | 39 |
| 7 | 31 | 34 |
| 8 | 23 | 24 |
| 9 | 20 | 21 |

дарты. Время между соседними точками составляет 1.5 мин. Поскольку точность каждой точки на графике рис. 1 составляет $0.^m005$, можно уверенно считать, что график демонстрирует реальные изменения показателя цвета V-R со временем. Амплитуда их в среднем составляет $0.^m04$, и только в конце ночи 3 февраля изменения показателя цвета достигают почти $0.^m08$. Полагая, что длительность видимости детали Δt в формуле 1 определяется примерно на половине максимального изменения показателя цвета, мы оценили размеры некоторых деталей по графикам на рис.1.

Оценки размеров деталей сделаны, в основном, для деталей среднего размера, поскольку они проявились на кривых показателя цвета наиболее четко. Точность оценок длительности видимости детали невелика и составляет 10-15%.

Результаты оценок размеров деталей, сделанных по графикам рис.1, приведены в столбце 2 таблицы 1. Для сравнения в столбце 3 приведены результаты, полученные с помощью частотного анализа этих же данных (Прокофьева-Михайловская и др., 2007). Сравнение данных столбцов 2 и 3 показывает, что пределах ошибок порядка 10% результаты, полученные двумя методами, совпадают. Т.е., рассмотрение кривых изменения показателя цвета V-R и применение к ним формулы (1) позволило нам оценить размеры девяти деталей на поверхности астероида 4 Веста, которые по размерам оказались близки данным, найденным ранее с применением частотного анализа.

Процедура сравнения двух методов показала, что применение частотного анализа с последовательным вычитанием найденных периодов дает значительно более уверенные результаты и большее число

найденных размеров (20 размеров), чем использование формулы (1), которая при рассмотрении данных наблюдений позволила обнаружить только 9 различных размеров.

Итак, спектрально-частотный метод исследований кривых блеска и показателей цвета астероидов позволяет наземными средствами получать информацию о размерах деталей на их поверхностях. Использование методов частотного анализа с последовательным отбеливанием данных за обнаруженные периоды обеспечило обнаружение деталей на поверхностях астероида 4 Веста пояса вплоть до 9 км. Для обнаружения пятен на поверхностях астероидов необходимо использовать плотные ряды наблюдений, когда условия освещения астероида Солнцем изменяется незначительно. Не более 0.5° . Многократное перекрытие одних и тех же фаз периода вращения астероида нежелательно, так как при следующем повороте астероида вокруг оси условия видимости пятна могут измениться. Точность анализируемых данных должна быть высокой, что должно обеспечить регистрацию периодичностей с малыми амплитудами. Перед началом поиска периодов, связанный с пятнами, необходимо удалить период вращения астероида. Периоды считаются значимыми, когда точность определения амплитуды колебания превосходит 3σ .

Литература

- Бусарев В.В., Прокофьева-Михайловская В.В., Бочков В.В.: 2007, *Успехи физ. наук*, **177**, N 6, 663.
 Карачкина Л.Г., Прокофьева В.В., Таращук В.П.: 1998, *Астрон. вестн.*, **32**, N 4, 327.
 Кузьмин В.Л., Романов В.П.: 1996, *Успехи физических наук*, **166**, N 3, 247.
 Прокофьева В.В., Бочков В.В., Бусарев В.В.: 2005, *Астрон. вестн.*, **39**, N 5, 457.
 Прокофьева-Михайловская В.В., Рублевский А.Н., Бочков В.В.: 2007, *Астрон. вестн.*, (в печати).
 Цесевич В.П.: 1979, *Что и как наблюдать на небе*, Москва Наука 302 с
 Jedicke R., Nesvorny D., Whiteley R. et al.: 2004, *Nature*, **429**, No 6989, 275.
 Ivezić Z., Lupton F.H., Juric M. et al.: 2002, *Astron. J.*, **124**, 2943.