

УДК 523.44+520.84

Водные соединения на поверхности астероида 4 Веста

В.В. Прокофьева-Михайловская, А.Н. Рублевский, В.В. Бочков

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный

Поступила в редакцию 29 февраля 2008 г.

Аннотация. Использование спектрально-частотного метода исследований безатмосферных тел (Бусарев и др., 2007б) позволило обнаружить на поверхности астероида 4 Веста шестнадцать различных размеров гидросиликатных пятен. Крупные размеры (800 км и 750 км) характеризуют скопления гидросиликатных пятен вблизи известного кратера. Более 50 % составляют пятна в диапазоне размеров от 50 км до 13 км. Преимущественное количество пятен малых размеров позволяет предположить их недавнее происхождение. Полученные данные подтверждают присутствие водных соединений на поверхности астероида 4 Веста и позволяют сделать заключение об их недавнем появлении, по-видимому, при столкновениях астероида с телами, приходящими из зоны Юпитера.

WATER COMBINATIONS ON THE SURFACE OF THE ASTEROID 4 VESTA, *by V. V. Prokofjeva-Mikhailovskaja, A. N. Rublevskij, V. V. Bochkov.* Spectral-frequency method (Busarev et al., 2007b) allows us to obtain data about 16 sizes of hydrosilicate spots on the surface of the asteroid 4 Vesta. Large sizes of 800 and 750 km show clusters of hydrosilicate small spots near the well-known crater. Small spots of 50–13 km cover more than 50 %. The predominant number of small-size spots allows us to suggest their recent origin. Our data confirm the presence of water combinations on the surface of the asteroid 4 Vesta and allow us to make conclusion about their recent appearance at collisions of asteroid with primitive bodies from the Jupiter’s zone.

1 Введение и постановка задачи

Исследования наличия водных соединений на поверхности таких астероидов, прошедших магматическое плавление, были проведены многими авторами. Группа из Аризонского университета (Ривкин и др., 1995; Ривкин, 1997; Ривкин и др., 2000) обнаружила полосу поглощения около $3\mu\text{m}$, свидетельствующую о наличии водных соединений на поверхностях примерно 24 % известных М-астероидов и у трех Е-астероидов. Наблюдения четырех астероидов Е-типа в видимом диапазоне (Форнасьер, Лаззарин, 2001) позволили обнаружить наличие полосы поглощения около 5000 \AA , которая также может указывать на присутствие на поверхностях астероидов гидратированных силикатов.

В.В. Бусарев (1998), приводя результаты анализа спектров в видимой области двух астероидов М-типа, указывает, что спектр 201 Пенелопы содержит полосу поглощения $0.43\mu\text{m}$, которая переменна по глубине от 2 % до 8 %. Она вызвана наличием гидросиликатных соединений на поверхности астероида, которые распределены неравномерно по поверхности астероида. В заключение статьи автор указывает, что гидраты и окисленные силикаты могут появляться на поверхности М-астероидов при их столкновениях с примитивными телами.

Бусарев (2002) обсуждает полученные им спектры пяти астероидов М-типа и двух – S-типа, показывающих присутствие полос поглощения вблизи $0.43\mu\text{m}$ и $0.6\text{--}0.8\mu\text{m}$ с переменной интенсивностью 5–10 %. Полосы, с большой вероятностью, вызваны гидратированными силикатами, содержащими структурные группы ОН. Автор развивает высказанную им ранее идею о происхождении водных соединений на поверхностях тел, прошедших высокотемпературную фазу. Он считает, что присутствие гидросиликатных соединений на поверхностях астероидов, прошедших магматическое плавление, может быть объяснено в космогонической модели В.С. Сафронова с сотрудниками (Сафронов, Зиглина, 1991; Рускол, Сафронов, 1998), согласно которой первоначальная эволюция астероидов Главного пояса проходила под прямым воздействием процесса роста Юпитера. Его гравитационное воздействие привело к тому, что часть тел из зоны воздействия Юпитера изменили свои траектории и проникли в зону образования астероидов. Тела были в основном примитивные, несущие лед и водные соединения. Бомбардировка такими телами поверхностей астероидов, прошедших стадию плавления, привела к появлению на их поверхности гидросиликатных соединений. Бусарев (2000, 2001, 2002, 2003) подчеркивает, что появление на поверхностях М-, S-, E-астероидов окисленных и гидратированных силикатов, по-видимому, связано с попаданием водяного льда и других низкотемпературных соединений в пояс астероидов из зоны Юпитера. Исследования гидросиликатных пятен на поверхности М-астероида 21 Лютеция (Прокофьева и др., 2005) показали, что преимущественные размеры этих пятен составляют 30–40 км. Это указывает на сравнительную молодость их образования согласно данным Скобелевой (1987). Таким образом, гипотеза Бусарева о недавнем занесении гидросиликатов на поверхность М-астероидов получила свое наблюдательное подтверждение.

В настоящей статье ставится и решается задача оценки размеров гидросиликатных пятен на поверхности астероида 4 Веста. Анализ проводился по спектрам астероида, полученным В.В. Бочковым в 2002 году в НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”.

Астероид 4 Веста является главным объектом спектрального типа V (Бас и др., 2002). Он является самым ярким из всех астероидов. Исследования его были проведены на многих обсерваториях мира (например, Герельс, 1967; Хансен, 1976; Аксенов и др., 1987). Сидерический период вращения астероида определен с высокой точностью $0.^d2225889+0.0000002$ (Тейлор и др., 1985). Кривая блеска имеет один максимум, один минимум и переменную амплитуду, которая меняется в полосе V в пределах от $0.^m08$ до $0.^m15$ (Бланко, Каталано, 1979; Целлино и др., 1987; Аксенов и др., 1987; Рейнольдсон и др., 1993; Меллино и др., 1995).

Поверхность Весты неоднородна и покрыта базальтовыми породами (Бинзел и Ксу, 1993). Темные области на его поверхности соответствуют базальтовым равнинам, а более светлые – сильно кратерированным возвышенностям. Форма астероида близка к сферической. Величина диаметра астероида имеет разные оценки (Хансен, 1976; Ворден и др., 1977; Друммонд, Хиге, 1989; Друммонд и др., 1988; Тедеско и др., 2002). Тедеско и др. (2002) приводят значение диаметра 468.3 км. В то же время есть указание на размер 576 км (<http://news.pravda.ru/science/2003/>). Согласно измерениям, полученным на космическом телескопе Хаббла (HST), астероид имеет размеры радиусов 280, 272 и 227 км, причем ошибка составляет ± 12 км (Томас и др., 1997b). При оценках размеров гидросиликатных пятен мы будем использовать величину диаметра астероида 550 км, лежащую в пределах первых двух приведенных выше определений радиуса астероида с помощью HST.

Наблюдения астероида 4 Веста, проведенные с космического телескопа им. Хаббла (Томас и др., 1997a), позволили впервые построить карту его поверхности. На астероиде в районе южного полюса был обнаружен огромный кратер диаметром 460 км. Спектрометрический анализ показал, что кратер обнажил несколько слоев коры Весты и частично ее мантию. По-видимому, астероид испытал мощное соударение с каким-то достаточно большим телом около миллиарда лет назад. В результате образовалось семейство астероидов Вестойды (Вилас и др., 2000). Спектральные особенности членов этого семейства показали сходство со спектральными особенностями астероида 4 Веста.

Японские ученые Хасегава и др. (2003) 1 и 2 марта 2003 г. получили спектры астероида Веста в области $3\mu\text{m}$. Обработка данных показала, что спектры, полученные 2 марта, достаточно уверенно показывают присутствие полосы поглощения в области $3\mu\text{m}$. Сделан вывод, что между долготами

Таблица 1.

Аспектные данные астероида 4 Веста							
1	2	3	4	5	6	7	8
Дата 2002 г.	R	Δ	ϕ°	A°	$\lambda^\circ, \beta^\circ$	N	Δt
	a.e	a.e			1950.0		
2 февраля	2.130	2.571	21.7	88.82	58.12;-03.41	215	16.5–20.5
3 февраля	2.142	2.571	21.8	88.75	58.26;-03.36	222	16.5–20.5
4 февраля	2.155	2.571	21.9	88.67	58.39;-03.31	164	16.9–19.9
7 февраля	2.149	2.570	22.1	88.44	58.8;-03.15	90	17.9–18.9

155 и 195 на поверхности астероида имеются водные соединения. По-видимому, минералы, содержащие OH и/или H₂O, имеются в данном районе. Авторы придерживаются гипотезы, согласно которой большой ударный кратер на южном полюсе Весты может быть результатом косоугольного импакта (Пиераззо и Мелош, 2000). Полученная при ударе эжекта могла быть разбросанной вокруг образовавшегося кратера. Ударное тело содержало гидратированные CM2 хондриты, которые были рассеяны по поверхности астероида и дали полосу поглощения в области 3 μ m.

Астероид 4 Веста намечен объектом космических исследований, запланированных с борта космического аппарата (КА) Dawn (“Заря”) (Вернацца и др., 2005), запущенного 27 сентября 2007 г. КА оснащен фотокамерами высокого разрешения, инфракрасным спектрометром, детекторами нейтронов и гамма-излучения. Исследования планируются на 2011 год, для чего КА выйдет на орбиту около Весты (<http://grani.ru/Society/Science/m.127901>).

Поставленная нами задача исследований гидросиликатных пятен на поверхности астероида Веста является актуальной по двум причинам: а) необходим сбор данных для решения проблемы появления водных соединений на поверхностях астероидов, прошедших магматическое плавление; б) желательно проведение наземных исследований поверхности астероида, к которому направляется КА “Заря”.

Исследование наличия водных соединений на поверхности астероида Веста было нами проведено по полосе поглощения гидросиликатов в области 4300–4400 Å. Формула наиболее часто встречающихся в земных условиях магнезиальных серпентинитов, являющихся продуктом водного изменения других минералов (чаще всего пироксенов и оливинов), имеет вид Mg₃[Si₂O₅] (OH)₄ (Дир и др., 1966).

2 Наблюдения спектров астероида 4 Веста в 2002 году

Определение размеров гидросиликатных пятен на поверхности астероида 4 Веста проводилось по наблюдениям спектров, полученных в течение короткого интервала времени, во время которого условия освещения поверхности астероида Солнцем менялись бы мало. Этому удовлетворяли спектральные наблюдения В.В. Бочкова, полученные 2–7 февраля 2002 г. Аспектные данные астероида в эти ночи приведены в таблице 1. В первом столбце указана дата наблюдений 2002 г., во втором – расстояние от Земли (R) в астрономических единицах, в третьем – расстояние от Солнца (Δ) в астрономических единицах, в четвертом и пятом – угол фазы освещения астероида Солнцем (ϕ) и аспектный угол (A) в градусах, в шестом – гелиоцентрические долгота и широта астероида (λ, β) на эпоху 1950.0, в седьмом – число записей наблюдений спектров (N), полученных в течение каждой ночи. Все данные приведены на момент времени UT = 19^h12^m. Аспектный угол сосчитан для значений координат полюса вращения астероида $\lambda = 326^\circ; \beta = 53^\circ, 1950.0$ (Аксенов и др., 1987).

Спектрофотометрические наблюдения астероида проводились на телевизионном комплексе телескопа МТМ-500 с бесщелевым афокальным спектрографом с прозрачной дифракционной решеткой, имеющей 200 штр/мм (Абраменко и др., 1984, 2000, 2002). Обратная линейная дисперсия составляла

300 Å/мм (Бочков и др., 2003), что позволяло четко регистрировать полосу поглощения вблизи длины волны 4400 Å. В феврале 2002 г. астероид имел блеск 7.^m7. Время экспозиции составляло 30 сек. Наблюдения велись в режиме непрерывного считывания информации с мишени передающей трубки. Длительность считывания телевизионного кадра составляла 0.09 сек, в памяти персонального компьютера (PC AT) ЭВМ усреднялось около 300 кадров. На один канал регистрации приходился диапазон спектра около 7 Å. Отметим, что при афокальной бесщелевой регистрации спектров разрешающая способность определялась качеством изображений, которое в среднем составляло около 3 угл. сек, что соответствовало разрешающей способности 40 Å и примерно 5 каналам регистрации. Отношение сигнала к шуму около 4400 Å достигало 140, что обеспечивало среднюю квадратичную ошибку относительных измерений интенсивностей в спектрах 0.7 %. Одновременно с наблюдениями спектров записывался “эталон яркости”, что позволяло иметь энергетическую калибровку полученных спектров (Абраменко, Таран, 2004).

Таблица 2. Стандартные звезды, их блеск в цветовой системе V и спектральный класс

1	2	3
Стандарт	Блеск V	Спектральный класс
BS1201	5.97	F4V
HD99579	7.29	F8V
BS4101	6.04	A2p

За четыре ночи наблюдений получен 691 спектр. В качестве стандарта солнечного типа наблюдалась звезда BS1201. Блеск стандарта BS1201, а также стандартов BS4101 и HD99579, используемых для определения экстинкции земной атмосферы, и их спектральные классы указаны в таблице 2.

На рис. 1 приведены записи участков коротковолновой области спектра (Абраменко и др., 2002). Исследуемая нами полоса поглощения расположена по центру рисунка. Регистрация ее достаточно уверенная, что позволило нам провести вычисления ее эквивалентных ширин W_{4400} .

3 Определения эквивалентной ширины полосы поглощения W_{4400}

В процессе обработки полученных спектров астероида были использованы спектры солнечного стандарта BS1202 для получения спектров отражения астероида. Эквивалентные ширины W_{4400} полосы поглощения были сосчитаны Бочковым. С целью повышения точности анализируемых данных было произведено усреднение полученных значений. Результаты измерения эквивалентной ширины W_{4400} были усреднены по 7–10 измерений так, чтобы временной интервал между данными составлял около 5 мин. После усреднения был получен файл, содержащий 91 значение. Небольшой тренд был убран полиномом 3-ей степени. Кроме того, были удалены 3 точки, которые, видимо, были ошибочны. Полученные значения эквивалентных ширин приведены на рис. 2, где они расположены в зависимости от момента наблюдений в Юлианских днях.

Рассмотрена зависимость величин эквивалентных ширин от долготы астероида L_v , для чего мы использовали формулу расчета долготы, приведенную Кохран и Вилас (1998). Результаты представлены на рис. 3. Расположение точек на графике достаточно равномерное, что свидетельствует о распространении гидросиликатов по всей поверхности астероида.

4 Подготовка данных к поиску высоких частот

Определение размеров гидросиликатных пятен на поверхности астероида требует освобождения анализируемых данных от изменений, вызванных вращением астероида. Для этого была построена фазовая диаграмма (свертка) данных с известным периодом вращения астероида $P = 0.^d22259$

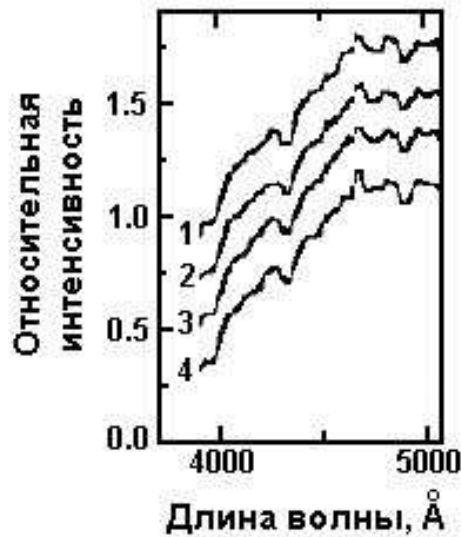


Рис. 1. Записи спектров астероида 4 Веста, полученные 27 октября 2001 г. в коротковолновой области спектра. Экспозиция – 27 сек. Спектры нормированы и сдвинуты относительно друг друга по вертикали

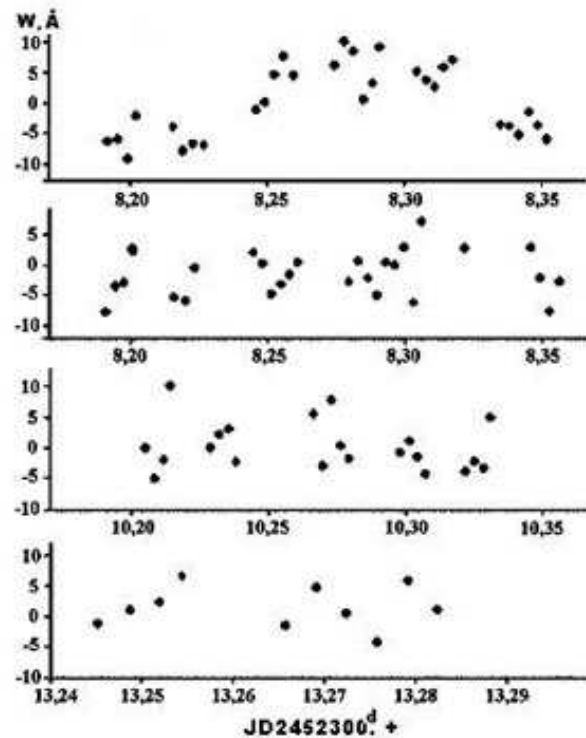


Рис. 2. Эквивалентные ширины полосы поглощения около 4400 Å в зависимости от времени наблюдений астероида Веста для дат наблюдений 2, 3, 4 и 7 февраля 2002 г.

(рис. 4). Аппроксимация данных сделана полиномом 5-ой степени. Амплитуд изменений W_{4400} около 6 Å. Значимость периода достаточно высокая, так как точность определения амплитуды около 1 Å, что составляет около 6 величин ошибок ее измерения (сигм). Рисунок показывает, что точки располагаются около полинома 5-ой степени достаточно кучно. Полином был вычтен из значений данных. После его вычитания были найдены еще две ошибочные точки, которые были удалены из файла. Всего для дальнейшего анализа в файле было оставлено 86 точек. Сравнение данных, полученных после вычитания периода вращения астероида, с данными, приведенными на рис. 2, показало, что вычитание зависимости эквивалентных ширин от периода вращения астероида уменьшило диапазон изменений эквивалентных ширин полосы поглощения гидросиликатов почти в два раза. Удаление зависимости от вращения астероида позволяет перейти к поиску высокочастотных изменений, обусловленных наличием гидросиликатных пятен на поверхности астероида.

5 Частотный анализ данных эквивалентных ширин W_{4400}

Анализ полученных эквивалентных ширин W_{4400} и оценка размеров гидросиликатных пятен производились с помощью нового спектрально-частотного метода исследований поверхностей безатмосферных тел (Бусарев и др., 2006, 2007а,б). Метод основывается на данных регистрации ряда спектров астероида, их обработке и частотном анализе полученных спектральных характеристик. В частности, частотный анализ изменений эквивалентной ширины спектральной полосы позволяет

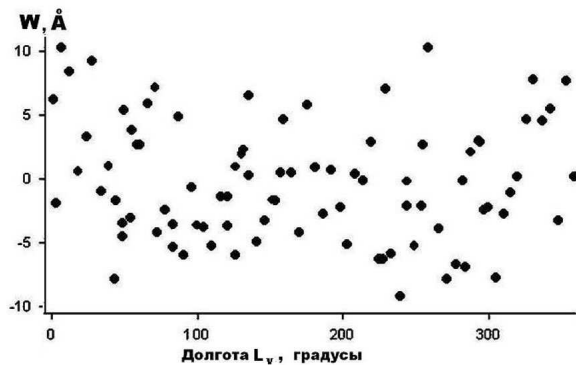


Рис. 3. Эквивалентные ширины полосы поглощения, расположенной около 440 нм, в зависимости от долготы астероида Веста. Долгота вычислена по данным, приведенным в статье Кохран и Вилас (1998)

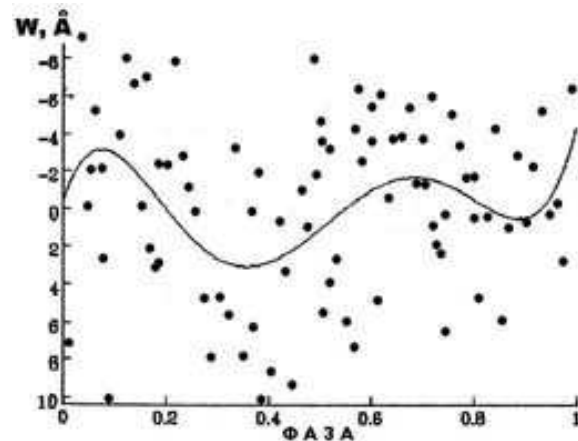


Рис. 4. Фазовая диаграмма (свертка), построенная с известным периодом вращения астероида $P = 0.^d22259$. Нулевая фаза соответствует моменту JD 2452308.^d19171. Кривая – полином 5-ой степени

обнаружить неоднородности распределения геологических минералов по поверхности астероида. Эти неоднородности вследствие особенностей рассеяния ими солнечного света дают при вращении астероида заметные модуляции величин эквивалентных ширин с периодами, связанными с размерами этих пятен на поверхности астероида. Методика определения размеров пятен на поверхностях астероидов описана в работах Прокофьевой-Михайловской и Рублевского (2007, 2008), а также Прокофьевой-Михайловской и др. (2008).

Поиск высоких частот в изменениях эквивалентных ширин W_{4400} производился следующим образом. Диапазон частот, в котором можно было производить уверенный поиск, определялся с одной стороны частотой вращения астероида, с другой – ограничивался временным разрешением, которое составляло в среднем 5 минут. Такие ограничения определили диапазон поиска высоких частот в интервале от 4.5 до 300 с/d (циклов в сутки).

Вначале поиска использовался амплитудный метод Диминга (1975), что позволяло выбрать частоты, показывающие максимальные амплитуды. Затем для уточнения частот в небольшом выбранном интервале использовались три метода частотного анализа: Лафлера, Кинмана (1965), Юркевича (1971) и Диминга (1975). По результатам анализа выбирались частоты, значительно присутствующие в данных, полученных тремя методами поиска. С этими частотами строились фазовые диаграммы (свертки). В каждой свертке выделялось по восемь интервалов (бин), и внутри каждого бина вычислялось среднее значение и его ошибка. По полиномам, проведенным по сверткам, определялась амплитуда колебаний, а вычисленные точности позволяли определить точность измерения амплитуды. Применялась программа “Period” (Прокофьева и др., 1995). Она позволяла оперативно просматривать свертки данных с найденным периодом, а также подбирать нужную степень полинома. Вычитание значений полинома из соответствующих данных позволяло удалять колебания блеска с выбранным периодом (как это было сделано с периодом вращения астероида). Таким образом, производилась процедура отбеливания данных, которая необходима была для дальнейшего поиска скрытых периодов (Теребиз, 1992).

Для выявления реальных колебаний величины эквивалентных ширин полосы 4400 Å использовались следующие признаки:

- 1) три метода (Диминга, Юркевича и Лифлера-Кинмана) поиска частот указывали на реальность найденной частоты;

- 2) в спектрах имелись комбинационные частоты, расположенные симметрично относительно исследуемой (они представляют собой сумму и разность основной частоты колебания сигнала от исследуемого объекта и частот, присущих среде);
- 3) фазовые диаграммы, построенные с исследуемым периодом, не имели пробелов, вызванных скважностью наблюдений, показывали максимум и минимум, причем амплитуда колебаний A превосходила точность ее определения σ в 4.5 раза и более.

Полученные результаты приведены в таблице 3. В столбце 1 указан порядковый номер найденного периода, во 2-ом – найденная частота, в 3-ем – соответствующая величина периода, в 4-ом – амплитуда колебаний в ангстремах, в 5-ом – отношение величины амплитуды к точности ее определения (сигнал/шум = A/σ), в 6-ом – точность определения амплитуды σ . Данные столбца 5 показывают достаточно высокое отношение сигнала к шуму, лежащее в пределах от 5 до 4.5. Такое малое различие отношения сигнал/шум объясняется тем, что в процессе отбеливания за найденные периоды уменьшались как амплитуды найденных периодов, так и разброс точек на кривых фазовых диаграмм, то есть увеличивалась точность определения амплитуд. Данные столбцов 4 и 6 демонстрируют этот факт. В результате вычитания 15 найденных периодов точность определения амплитуды колебаний увеличилась в 5 раз. Это указывает на реальность найденных периодов.

Таблица 3.

Список найденных периодов в порядке их обнаружения и удаления из данных эквивалентных ширин W_{4400}

1	2	3	4	5	6
№№	1/P, (с/d)	P,d	A,Å	A/σ	σ
1	4.86143	0.205701	5	5	1
2	5.16193	0.19373	5	5	1
3	29.1319	0.034327	4	4.5	1
4	49.5542	0.020180	3.8	4.5	0.9
5	80.6177	0.012404	3.5	5	0.7
6	103.7963	0.009434	4	5	0.8
7	89.1769	0.011214	2.2	5	0.5
8	297.2262	0.003364	2.4	5	0.5
9	282.8414	0.003536	2.3	4.5	0.5
10	43.1636	0.023168	2.4	4.5	0.5
11	10.9265	0.091520	2.0	4.5	0.4
12	259.6961	0.00385	1.8	4.5	0.4
13	21.4791	0.046557	1.2	4.5	0.3
14	161.9565	0.006174	1.2	4.5	0.3
15	102.3455	0.00977	1.2	4.5	0.3
16	119.1853	0.008390	1.0	4.5	0.2

Таблица 4.

Найденные периоды и размеры деталей на поверхности Весты в порядке уменьшения их величины

Найденные периоды в сутках	Размеры деталей, км
0.205701	800
0.19373	750
0.091520	355
0.046557	180
0.034327	133
0.023168	90
0.020180	70
0.012404	48
0.011214	43
0.009771	38
0.009634	37
0.008390	33
0.006174	23
0.003851	15
0.003536	14
0.003364	13

В результате обнаружено 16 независимых периодов. На рис. 5 приведены 16 спектров, полученных методом Диминга в диапазоне от 4.5 до 300 с/d. Спектры приведены в порядке их отбеливания. Стрелками с указанием частоты показаны частоты, найденные по данному файлу, стрелками без надписей отмечена на следующем графике та же частота. Приведенные спектры показывают, что после удаления 15 обнаруженных периодов наибольшая амплитуда спектра Диминга уменьшилась почти в 7 раз. Это указывает на реальность найденных и вычтенных периодов. Изменение частотного спектра в области частоты вычитаемого периода продемонстрировано нами также на рис. 6 на малом частотном интервале при вычитании частоты $1/P = 43.1630$ с/d, которое было десятым. Сравнение графиков, расположенных слева и справа, показывает, что слева все три метода показывают существование найденной частоты $1/P = 43.1630$ с/d, на двух нижних графиках это миниму-

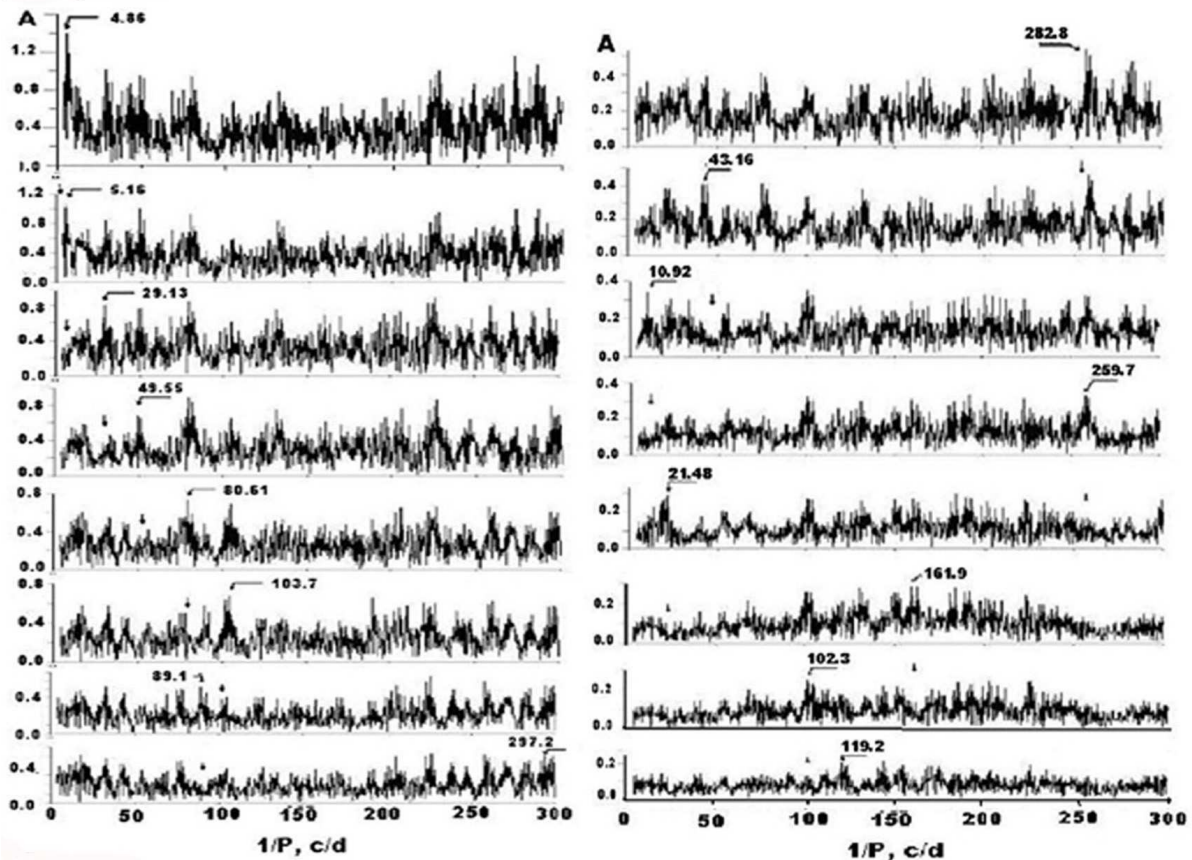


Рис. 5. Амплитудные спектры, расположенные в порядке обнаружения и вычитания периодов. Стрелками с надписями указаны найденные периоды, а стрелками без надписей – результаты вычитания указанных периодов

мы кривых, а на верхнем графике – минимум. Слева и справа от найденной частоты симметрично расположены экстремумы сопряженных частот. Графики, расположенные справа, получены в том же диапазоне частот по файлу отбеленных данных. На верхнем графике практически исчезли центральный минимум и минимумы сопряженных частот. На двух нижних графиках местоположение найденной частоты приходится на минимумы кривых, что показывает полное отсутствие найденной и вычитенной частоты. Это свидетельствует о реальности найденной частоты и о правильности отбеливания данных за эту частоту.

На рис. 6 в качестве примеров приведены две фазовые диаграммы с найденными периодами. Величины периодов приведены на графиках и в столбце 3 таблицы 3. Рассмотрение сверток показывает, что во всех случаях имеет место группировка точек около кривых, представляющих собой полином третьей степени. Такая группировка данных свидетельствует также о реальности указанных периодов. Последовательное вычитание найденных периодов уменьшило разброс точек около кривых. Так, для периода $p = 0.046557$ (рис. 6, график справа) разброс точек уменьшился почти в четыре раза.

Таким образом, применение частотного анализа с последовательным отбеливанием данных за найденные периоды позволило нам найти 16 независимых периодов. Это можно интерпретировать

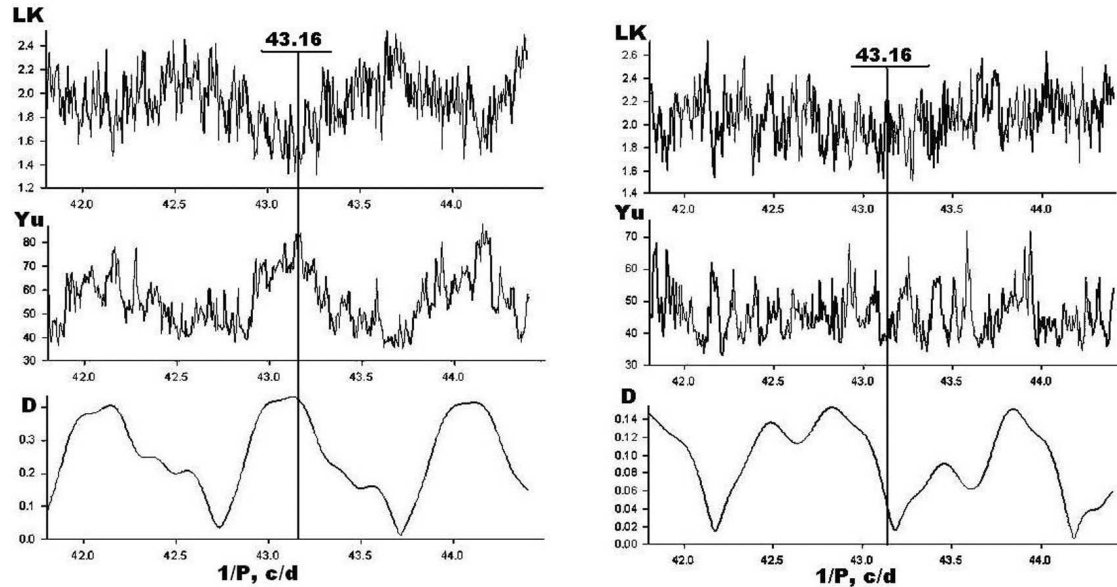


Рис. 6. Примеры фазовых диаграмм (сверток), построенных с найденными периодами. Кривые – полиномы третьей степени. Масштабы по оси ординат на графиках разные

как свидетельство о наличии гидросиликатных пятен разных размеров на поверхности астероида 4 Веста.

6 Оценка размеров гидросиликатных пятен на поверхности астероида 4 Веста

Основой использованной нами методики оценки размеров пятен является формула, приведенная Бернсом и Тедеско (1989) для определения размеров пятен на поверхностях астероидов по фотометрическим данным. Мы ее модернизировали, приняв за размер пятна половину найденного периода. Таким образом, использовалась формула, приведенная в статье Прокофьевой-Михайловской и др. (2008):

$$L = \pi D p / 2 P_{rot}, \quad (1)$$

где L – размер пятна, D – диаметр астероида, p – найденный период, P_{rot} – период вращения астероида. Предполагалось, что пятна расположены в экваториальной зоне астероида.

Результаты определения размеров пятен приведены в таблице 4. Пятна больших размеров 800 км и 750 км могут представлять собой скопления мелких пятен. Если их размер пересчитать с экваториальной зоны на широту 45° , где расположен кратер, то получаются размеры 566 км и 530 км, что несколько превосходит известный размер кратера 460 км. По-видимому, эти гидросиликаты были рассеяны вокруг кратера при его образовании во время катастрофического столкновения.

Рассмотрим кратко статистику найденных нами размеров гидросиликатных пятен. Размеры крупных пятен составляют около 10 %. Три размера от 400 до 100 км составляют около 20 %. 11 размеров лежат в пределах от 100 км до 13 км. Это около 70 % всех размеров. Из них 9 размеров менее 50 км, что составляет 50 % всех размеров пятен.

7 Заключение

По-видимому, на поверхности астероида 4 Веста имеются преимущественно гидросиликатные пятна малых размеров от 50 до 13 км. На основании результатов статистической обработки размеров кратеров с пересекающимися валами (Скобелева, 1987) можно предположить, что гидросиликатные пятна являются образованиями молодыми. Очевидно, при столкновении Весты с крупным телом согласно модели касательного импакта (Пиераццо и Мелош, 2000) куски прилетевшего тела разлетались в разные стороны и распространились на большую площадь. Поскольку столкновение могло быть касательным, то распределение привнесенных гидросиликатов по поверхности астероида оказалось неравномерным. На это указывают полученные нами размеры скоплений пятен, которые лишь незначительно больше размера кратера. Они, по-видимому, расположены по краям кратера.

В результате анализа эквивалентных ширин полосы поглощения гидросиликатов, расположенной около длины волны 4400 Å, можно сделать следующие выводы:

- 1) подтверждено наличие водных соединений на поверхности астероида 4 Веста;
- 2) определены размеры гидросиликатных пятен, что показало наличие двух крупных размеров порядка 700–800 км и большое количество мелких размеров в диапазоне 100–10 км;
- 3) большое число мелких пятен позволило предположить, что гидросиликаты занесены на поверхность Весты сравнительно недавно. Возможно, при касательном столкновении с примитивным телом, пришедшим из зоны Юпитера. Не исключено, что и дальше продолжалась бомбардировка поверхности астероида примитивными телами.

Авторы благодарят В.В. Бусарева за прочтение рукописи и ценные замечания и советы.

Литература

- Абраменко А.Н., Агапов Е.С., Анисимов В.Ф., Прокофьева В.В., Синенко С.М. // Телевизионная астрономия. II изд./ Ред. Никонов В.Б. М.: Наука. 1984.
- Абраменко А.Н., Таран А.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2004. Т. 99. С. 181.
- Абраменко и др. (Abramenko A.N., Bochkov V.V., Prokofjeva V.V.) // Proc. SPIE. 2000. V. 4008. P. 866.
- Абраменко А.Н., Бочков В.В., Прокофьева В.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2002. Т. 98. С. 136.
- Аксенов А.Н., Егоров Ю.А., Тейфель В.Г., Харитонов Г.А. // Письма в Астрон. журн. 1987. Т. 13. №. 7. С. 616.
- Бинзел, Ксу (Binzel R.P., Xu S.) // Science. 1993. V. 260. P. 186.
- Бланко, Каталано (Blanko C., Catalano S.) // Icarus. 1979. V. 40. P. 359.
- Бас и др. (Bus S.J., Vilas F., Varucci M.A.) // Asteroid III./ Eds Bottke W.F., Cellin A., Paolicchi P., Binzel R. Tucson: Univ. Arizona Press. 2002. P. 169.
- Бернс и Тедеско (Burns J.A., Tedesco E.F.) // Asteroids I./ Ed. Gehrels T. Tucson: Univ. Arizona Press. 1979. P. 494.
- Бочков и др. (Bochkov V., Busarev V., Prokofjeva V.) // Astron. Astrophys. Trans. 2003. V. 22. №. 4–5. P. 621.
- Бусарев (Busarev V.V.) // Icarus. 1998. V. 131. №. 1. P. 32.
- Бусарев (Busarev V.V.) // Lunar and Planet. Sci. Conf. XXXI. 2000. Abstr. №. 1428.
- Бусарев (Busarev V.V.) // Lunar and Planet. Sci. Conf. XXXII. 2001. Abstr. №. 1927.
- Бусарев В.В. // Астрон. вестник. 2002. Т. 36. №. 1. С. 39.
- Бусарев В.В. // Сб. трудов конф. “Околоземная астрономия – 2003”/ Ред. Рыхлова Л.В. и др. Ин-т астрон. РАН. С.-П.: ВВМ. 2003. Т. 1. С. 184.
- Бусарев и др. (Busarev V.V., Prokofjeva V.V., Bochkov V.V.) // 44th Vernadsky-Brown Microsymposium on Comparative Planetology. Abstr. №. 14.
- Бусарев В.В., Прокофьева В.В. // Труды Всероссийской астрономической конференции ВАК-2007. Казань: Изд-во Казанского гос. университета. 2007а. С. 78.

- Бусарев В.В., Прокофьева-Михайловская В.В., Бочков В.В. // Успехи физ. наук. 2007б. Т. 177. №. 6. С. 663.
- Верназа и др. (Vernazza P., Moth-Diniz T., Barucci M.A., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2005. V. 436. P. 1113.
- Вилас и др. (Vilas F., Cochran A.L., Jarvis K.S.) // *Icarus.* 2000. V. 147. P. 119.
- Ворден и др. (Worden S.P., Stein M.K., Schmidt G.D., Angel J.R.P.) // *Icarus.* 1977. V. 32. P. 450.
- Герелс (Gehrels T.) // *Astron. J.* 1967. V. 72. P. 929.
- Диминг (Deeming T. J.) // *Astrophys. Space Sci.* 1975. V. 36. P. 137.
- Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. // Пороодообразующие минералы. Листовые силикаты. Т. 3. М.: Мир. 1966. С. 198.
- Дотто и др. (Dotto E., Barucci M.A., Fulchignoni M., et al.) // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1992. V. 95. P. 195.
- Друммонд и др. (Drummond J.D., Eckart A. and Hege E.K.) // *Icarus.* 1988. V. 73. P. 1.
- Друммонд и Хиги (Drummond J.D. and Hege E.K.) // *In Asteroids II.* / Eds Binzel R.P., Gehrels T., Matthews M. Tucson: Univ. Arizona Press 1989. P. 171.
- Кларк и др. (Clark B.E., Napke B., Pieters C., Britt D.) // *In Asteroids III.* / Eds Bottke W.F., Cellin A., Paolicchi P., Binzel R. Tucson: Univ. Arizona Press. 2002. P. 585.
- Кохран и Вилас (Cochran A.L and Vilas I.) // *Icarus.* 1998. V. 134. P. 207.
- Лафлер, Кинман (Laffer J., Kinman T.D.) // *Astroph. J. Suppl. Ser.* 1965. V. 11. P. 216.
- Меллино (Melillo F.J.) // *Bulletin of the Minor Planets. Section of the Association of Lunar and Planetary Observers.* 1995. V. 22. P. 19.
- Пиераццо и Меллош (Pierazzo E. and Melosh H.J.) // *Meteorit. Planet. Sci.* 2000. V. 35. P. 117.
- Прокофьева-Михайловская В.В., Рублевский А.Н. // *Mem. Intern. Scientific Conf. Dedicated to 100-th Aniver. of Prof. V.P. Tsesevich "Modern problems of astronomy". Abstracts.* Odessa. 2007. P. 31.
- Прокофьева-Михайловская В.В., Рублевский А.Н. // *Odessa Astron. Publ.* 2007. V. 20. (в печати).
- Прокофьева В.В., Горькавый Н.Н., Тарашук В.П. // Успехи физ. наук. 1995. Т. 165. №. 6. С. 661.
- Прокофьева В.В., Бочков В.В., Бусарев В.В. // *Астрон. вестник.* 2005. Т. 39. №. 5. С. 457.
- Прокофьева-Михайловская В.В., Рублевский А.Н., Бочков В.В. // *Астрон. вестник.* 2008. Т. 42.
- Рейнольдсон и др. (Reynoldson G., Thacker P., Ericson A., Oja T.) // *Bull. of the Minor Planets. Section of the Assoc. of Lunar and Planetary Observers.* 1993. V. 20. P. 11.
- Ривкин и др. (Rivkin A.S., Howell E.S., Britt D.T., et al.) // *Icarus.* 1995. V. 117. P. 90.
- Ривкин (Rivkin A.S.) // *Bull. Amer. Astron. Soc.* 1997. V. 29. P. 972.
- Ривкин и др. (Rivkin A.S., Howell E.S., Lebovsky L.A., et al.) // *Icarus.* 2000. V. 145. P. 351.
- Рускол Е.Л., Сафронов В.С. // *Астрон. вестник.* 1998. Т. 32. С. 291.
- Сафронов В.С., Зиглина И.Н. // *Астрон. вестник.* 1991. Т. 25. №. 2. С. 190.
- Скобелева Т.П. // *Астрон. вестник.* 1987. Т. 21. №. 3. С. 221.
- Тедеско и др. (Tedesco E.F., Noah P.V., Noah M., Price S.D.) // *Astron. J.* 2002. V. 123. №. 2. P. 1056.
- Тейлор и др. (Taylor R.C., Tapia S., Tedesco E.F.) // *Icarus.* 1985. V. 62. P. 298.
- Томас и др. (Thomas P.C., Binzel R.P., Gaffey M.J., et al.) // *Science.* 1997a. V. 277. P. 1492.
- Томас и др. (Thomas P.C., Binzel R.P., Gaffey M.J., et al.) // *Icarus.* 1997b. V. 128. P. 88.
- Теребиж В.Ю. // *Анализ временных рядов в астрофизике.* М.: Наука. 1992. С. 290.
- Форнасьер, Лаззарин (Fornasier S., Lazzarin M.) // *Icarus.* 2001. V. 152. P. 127.
- Хансен (Hansen O.L.) // *Astron. J.* 1976. V. 81 P. 74.
- Хасегава и др. (Hasegawa S., Murakawa K., Ishiguro M., et al.) // *Geophys. Res. Letters.* 2003. V. 30. №. 21. P. 2123.
- Целлино и др. (Cellino A., Zappala V., Di Martino M., et al.) // *Icarus.* 1987. V. 70. P. 546.
- Юркевич (Yurkevich I.) // *Astrophys. Space Sci.* 1971. V. 13. P. 154.