

Attention!

English-speaking persons should additionally use the next references:

Shortened version of this article – http://selena.sai.msu.ru/Bus/Publications/SSR_Busarev16.pdf;

The supplementary materials – <http://selena.sai.msu.ru/Bus/Publications/Supplementary-materials.pdf>

НОВЫЕ СПЕКТРЫ ОТРАЖЕНИЯ 40 АСТЕРОИДОВ: СРАВНЕНИЕ С ПРЕДШЕСТВУЮЩИМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

(полная версия статьи, опубликованной в сокращенном варианте в журнале
АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК, 2016, том 50, № 1, с. 15–26)

© 2016 г. **В. В. Бусарев**

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Государственный
астрономический институт имени П. К. Штернберга (ГАИШ МГУ), Москва*

Аннотация

В статье представлены и обсуждаются спектры отражения 40 астероидов Главного пояса, полученные автором в Крымской лаборатории ГАИШ МГУ в 2003-2009 годах. Целью работы является поиск новых спектральных особенностей астероидов, характеризующих состава их вещества. Актуальность этой проблемы объясняется недостаточной изученностью вещества астероидов в целом, а для отдельных тел (за исключением детально исследованных космическими методами) – отсутствием информации о химико-минеральных неоднородностях их поверхности. В результате сравнения полученных спектров отражения астероидов с предшествующими данными можно утверждать, что у ряда малых планет (10 Гигии, 13 Эгерии, 14 Ирены, 21 Лютении, 45 Евгении, 51 Немаузы, 55 Пандоры, 64 Ангелины, 69 Гесперии, 80 Сафо, 83 Беатрисы, 92 Ундины, 129 Антигоны, 135 Герты и 785 Зветаны) имеется значительная неоднородность поверхностного вещества, проявляющаяся при вращении. Кроме того, практически на всех рассматриваемых астероидах с преимущественно высокотемпературным составом обнаружены спектральные признаки наличия (в виде примеси или отдельных образований) нетипичного гидратированного и/или углисто-хондритового вещества. Обсуждается возможное влияние на спектральные характеристики астероидов особенностей их формирования, а также последующих динамических и ударных процессов, приведших, в частности, к доставке на эти тела несвойственных материалов.

Впервые на астероидах 10 Гигии, 21 Лютении и, возможно, 4 Весте при малых фазовых углах $\leq 4^\circ$ зарегистрирован фазо-спектральный эффект (ЭФС), выражающийся в росте геометрического альбедо с уменьшением длины волны к синей границе спектра. Этот эффект менее выражен в спектрах отражения Весты, что объясняется, вероятно, наличием ограниченного количества темных пятен углисто-хондритового состава на поверхности астероида. ЭФС был обнаружен при лабораторных спектральных исследованиях углисто-хондритового вещества группы СI при

фазовом угле 10° и отсутствовал при бóльших фазовых углах (Cloutis et al., 2011a). В случае подтверждения перечисленных результатов, ЭФС может использоваться как индикатор наличия углисто-хондритового вещества на поверхности исследуемого астероидного тела.

Ключевые слова: спектрофотометрия астероидов, минералогия, неоднородности поверхностного вещества, фазо-спектральный эффект.

1. Введение

Измерения спектральных параметров кристаллических природных материалов (спектров диффузного отражения порошкообразных образцов или спектров пропускания тонких пластинок с толщиной от десятков микрон до $\sim 1-2$ мм, в зависимости от прозрачности образца) позволяют установить элементный, а в некоторых случаях и минеральный состав вещества по характерным полосам поглощения входящих в минералы переходных металлов. Такие металлы (Fe, Cr, Ti и др.) имеют специфические полосы поглощения в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах благодаря наличию частично заполненной внешней электронной $3d^N$ -оболочки (напр., Adams, 1975; Платонов, 1976; Burns, 1993). Общая форма спектра отражения силикатных соединений в видимом диапазоне определяется двумя наиболее интенсивными полосами поглощения ионов железа и других металлов. Первая из них (с центром у 200 нм) вызывается переносом заряда «лиганд-металл» (по определению лиганды – это нейтральные молекулы, ионы или радикалы, связанные с центральным атомом комплексного соединения) (напр., Loeffler et al., 1974), а вторая (вблизи 1000 нм) – разрешенными по спину электронными переходами в Fe^{2+} в кристаллическом поле таких основных породообразующих минералов, как оливин (у 1010 нм), ортопироксен (у 900 нм) и клинопироксен (у 1000 нм) (Платонов, 1976; Burns, 1993). Дополнительными индикаторами этих минералов в твердых телах могут быть более слабые полосы поглощения с центрами у 506 нм (пироксен) и у 500 нм (оливин), возникающие при запрещенных по спину электронных переходах в Fe^{2+} в кристаллическом поле (Платонов, 1976; Хоменко, Платонов, 1987). Как показали теоретические и экспериментальные исследования, более интенсивная ультрафиолетовая полоса в основном зависит от степени окисления силикатного вещества, а ее длинноволновое крыло определяет наклон и форму спектра отражения твердого тела во всем видимом диапазоне (напр., Loeffler et al., 1974; Burns, 1993). Достаточно сильными могут быть и полосы поглощения переноса заряда между соседними катионами переходных металлов, например, $Fe^{2+} \rightarrow Ti^{4+}$ у 500-900 нм в ильмените (Wagner et al., 1984), $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ у 500-700 нм и 700-900 нм или во всем диапазоне 500-1000 нм в Fe-серпентинах (Calvin, King, 1997). Их параметры зависят от взаимного расположения катионов в кристаллической структуре минералов, но общей отличительной особенностью является значительная ширина, составляющая десятки нанометров и более (напр., Платонов, 1976; Бахтин, 1985). Сравнительно недавно были обнаружены и частично изучены весьма интенсивные полосы поглощения магнитно взаимодействующих обменно-связанных пар

катионов одного и того же металла с одинаковой или разной валентностью, находящихся в соседних кристаллографических позициях. На примере Fe^{3+} -содержащих сапфиров, гидратированных сульфатов и турмалинов (Ferguson, Fielding, 1971; Rossman, 1975; Mattson, Rossman, 1984; Taran, Rossman, 2002) было показано, что положение таких полос (у 440, 490, 800-900 и 1100 нм) совпадает с запрещенными по спине слабыми полосами Fe^{3+} кристаллического поля, а их интенсивность может превосходить последние по интенсивности до 2 порядков. Рост глубины таких полос при увеличении давления или при снижении температуры, вызывающих уплотнение кристаллической структуры вещества, однозначно указывает на механизм их возникновения: образование обменно-связанных пар соседних катионов Fe^{3+} и соответствующих общих электронных уровней, что приводит к увеличению интенсивности переходов, но практически не меняет их энергию (Mattson, Rossman, 1984; Taran, Rossman, 2002).

В этой работе мы осуществляем качественную оценку состава вещества астероидов с помощью спектрофотометрии, как дистанционного метода (напр., Adams, McCord, 1970; Бусарев, 1999). Такая возможность основывается, прежде всего, на сравнении спектров отражения астероидов с лабораторными спектрами отражения их вероятных образцов-аналогов (напр., Adams, 1975). Аналогами вещества астероидов служат имеющиеся в земных коллекциях метеориты, как их вероятные фрагменты, земные горные породы и отдельные минералы. Актуальность этой проблемы объясняется недостаточной изученностью состава вещества астероидов в целом, а для отдельных тел – отсутствием информации о неоднородностях химико-минералогических свойств вещества (за исключением астероидов, детально исследованных космическими методами). При использовании наземных телескопов все астероиды являются точечными объектами и, следовательно, измеряемые характеристики любого из них усредняются по всей наблюдаемой полусфере. В таком случае какие-либо неоднородности поверхностного вещества астероида трудно заметить, особенно в случае его медленного вращения. Кроме того, как известно наблюдателям, значительные помехи создает земная атмосфера: изменения оптических параметров исследуемого объекта вполне могут «имитироваться» вариациями ее прозрачности.

На сегодняшний день список нумерованных астероидов только в Главном поясе уже превосходит 450 тысяч. Такая масса малых планетных тел может быть изучена (а без этого невозможно успешное решение проблем космогонии Солнечной системы!) только дистанционными методами. В то же время, количество астероидов, исследованных до сих пор спектральными методами, примерно на два порядка меньше указанной величины.

2. Результаты спектральных наблюдений астероидов и их обсуждение

Здесь представлены спектры отражения 32 астероидов высокотемпературных типов, а также 8 астероидов низкотемпературных типов. Эти спектры получены в разное время с августа 2003 г. по

апрель 2010 г. на 1.25-м телескопе Крымской обсерватории ГАИШ с ПЗС-спектрографом (камера SBIG ST-6) в диапазоне 0.40–0.92 мкм со спектральным разрешением $\sim 8\text{\AA}$ (см. Табл. 1).

Регистрация каждого спектра объекта в рабочем диапазоне, как правило, проводится последовательно в двух интервалах длин волн (0.40–0.67 и 0.65–0.92 мкм, или наоборот) и занимает от 10-15 минут до полутора часов в зависимости от яркости объекта. При наблюдениях в длинноволновой части спектра входящий в прибор световой поток пропускается через красный светофильтр "КС-14", установленный за входной щелью. Первоначальная обработка наблюдательных данных выполнялась с использованием стандартного пакета программ, поставляемых с ПЗС-камерой SBIG ST-6. Привязка и расчет шкалы длин волн осуществлялись по бальмеровским линиям водорода в спектрах первичного стандарта α Луг. Последующие операции, связанные с получением спектров отражения астероидов, их сглаживанием и другими преобразованиями, проводились с помощью стандартных программ "Excel" и "Origin".

Вместе с астероидами наблюдались стандартные звезды, являющиеся одновременно и аналогами Солнца по спектрофотометрическим параметрам (16 Cyg B, HD 117176 и HD10307) (Hardorp, 1980; Cayrel de Strobel, 1996). Эти звезды использовались также и для определения функции спектральной прозрачности земной атмосферы на каждую наблюдательную ночь. Средние моменты времени (по всемирному времени), условия наблюдения астероидов и стандартных звезд (разность воздушных масс), эфемериды астероидов, а также относительные средне-квадратические ошибки (ОСКО) спектров отражения приведены в таблице 1. Расчет спектров отражения астероидов выполнялся по стандартной формуле, приведенной в нашей предшествующей работе (Бусарев, 1999). Затем полученные спектры отражения 3-4 раза сглаживались (методом «бегущего среднего» по 5 точкам) во всем спектральном диапазоне для устранения высокочастотной шумовой компоненты. Кроме того, для исключения значительных искажений на всех спектрах отражения вблизи границ используемого спектрального диапазона (в пределах примерно 500\AA), а также в области остаточных теллурических полос выполнялась полиномиальная экстраполяция или аппроксимация спектрального континуума. После этого каждый спектр отражения был нормирован (то есть – приведен к единице) на значение абсолютной отражательной способности соответствующего астероида на длине волны 0.55 мкм. С тем, чтобы не загромождать рисунки, информация об ошибках измерений для каждого спектра отражения помещена в таблицу 1 (три последних столбца). Как видно из этой таблицы, в среднем относительные ошибки спектров отражения в центральной части видимого диапазона составляют 1-2% и возрастают до 5-7% вблизи границ используемого спектрального диапазона. При обсуждении каждого астероида после его названия в скобках приводятся следующие основные параметры: период вращения (Батраков и др., 2009), средние значения геометрического альбедо (p_v) и диаметра (D), вычисленные по "стандартной" тепловой модели (Lebofsky et al., 1986) по

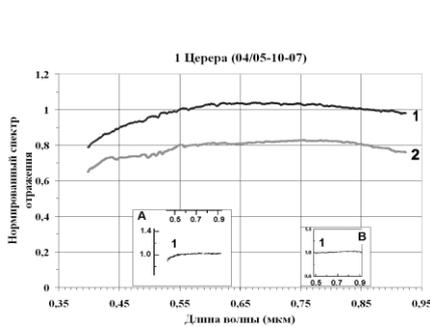
данным спутника IRAS (Tedesco et al., 2004), а также установленные спектральные типы астероидов (Sp) согласно таксономическим классификациям Толена (Tholen, 1989), Бас (Bus, Binzel, 2002a, 2002b) и/или Бас-ДеМео (DeMeo et al., 2009), соответственно. В опубликованных результатах IRAS-измерений отсутствуют данные об астероидах 9 Метида, 14 Ирена и 64 Ангелина (Tedesco et al., 2004). Параметры Метиды и Ангелины были измерены в 1996 году, в эксперименте MSX (Tedesco et al., 2002). Астероид 14 Ирена не попал в вышеупомянутые обзоры или, как можно предполагать, его параметры были измерены с большой погрешностью (при анализе спектров отражения Ирены нами сделан вывод о высокой неоднородности состава ее вещества). Поэтому ниже приведено значение его радиометрического альbedo, полученное при наземных наблюдениях (Morrison, Zellner, 1979), а его диаметра – по данным измерений методом покрытия звезд (Dunham, Herald, 2005).

При обсуждении спектров отражения астероидов проводится их сравнение с имеющимися результатами других авторов, полученными примерно в том же спектральном диапазоне. Для сравнения были взяты данные из общих спектральных обзоров SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и S³OS² (Lazzaro et al., 2004), а также из работ по изучению отдельных групп астероидов (Fornasier et al., 2008, 2010, 2011, 2014). Следует иметь в виду, что наблюдательные результаты SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), Lazzaro и др. (2004) и Fornasier и др. (2014) имеют ограничения в коротковолновой области менее 0.45-0.50 мкм. Кроме того, спектры отражения одних и тех же астероидов в нашей и перечисленных работах в большинстве случаев получены при разных фазах вращения или аспектных углах. С одной стороны, это, вероятно, помогло нам выявить тела, имеющие значительные спектральные и, вероятно, химико-минеральные неоднородности вещества. С другой стороны, ряд хороших совпадений спектров отражения астероидов из разных источников, указывает, по-видимому, на достаточно высокую однородность их поверхности (например, у 2 Паллады, 7 Ириды, 9 Метиды, 18 Мельпомены, 29 Амфитриты, 43 Ариадны, 67 Азии, 196 Филомелы, 230 Атамантис, 264 Либуссы, 349 Дембовской и 584 Семирамиды). Необходимо обратить внимание и на некоторые методические различия при получении спектров отражения астероидов в вышеперечисленных работах. Так спектры отражения астероидов в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) были получены как средне-взвешенные характеристики на соответствующих наблюдательных интервалах времени. В других же работах (Chapman et al., 1973; Fornasier et al., 2008, 2010, 2011, 2014) спектры отражения астероидов просто усреднялись. В то же время в обзоре S³OS² (Lazzaro et al., 2004) из всех полученных спектров отражения каждого астероида в качестве результирующего был взят только спектр с наилучшим отношением сигнал/шум. В нашей работе приведены все полученные спектры отражения астероидов, за исключением тех, что были исключены по причине обнаружения в них значительных ошибок.

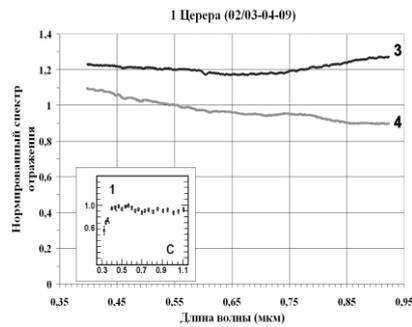
1 Церера. Это крупнейший астероид ($T_{\text{вр}} = 9.{}^{\text{h}}074$; $p_v = 0.113$; $D = 848.4$ км; $S_p = G, C, C$) и одна из карликовых планет (с 2006 г.) согласно классификации МАС. При наблюдениях Цереры с телескопом Хаббла были уточнены значения среднего геометрического альbedo (0.090 согласно Li et al., 2006) и диаметра (974.6 x 909.4 км согласно Thomas et al., 2005). Полученные нами спектры отражения Цереры в целом соответствуют ее углисто-хондритовому составу (рис. 1а, б) и согласуются со спектрами (вставки «А», «В» и «С», рис. 1а и 1б), полученными другими авторами (Charman et al., 1973; Bus, Binzel, 2002a; Lazzaro et al., 2004). Но мы впервые отмечаем, что в видимом диапазоне для некоторых частей поверхности Цереры характерна слегка выпуклая форма спектра отражения, как для астероидов С-типа (рис. 1а, спектры 1 и 2), а для некоторых – вогнутая форма, как для астероидов G-типа или вещества типа CI-CM (напр., Busarev, Taran, 2002) (рис. 1б, спектры 3 и 4). Последнее подтверждается спектром Charman и др. (1973) (вставка «С»). Пары спектров 1 и 2 (рис. 1а), а также 3 и 4 (рис. 1б) соответствуют диаметрально противоположным сторонам астероида (см. табл. 1). Такое изменение формы спектра отражения Цереры с вращением, вероятно, свидетельствует об изменениях степени гидратации (или окисления) вещества, влияющей на интенсивность наиболее широких интервалентных полос поглощения $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ в видимом диапазоне (напр., Burns, 1993). Подобные вариации могут быть следствием различного нагревания поверхностного вещества астероида при его ранней тепловой эволюции и/или при последующих крупных ударных событиях. Указанием на это могут быть также заметные вариации геометрического альbedo Цереры в достаточно широкой полосе V, составляющие 0.090 ± 0.003 (при общем диапазоне изменений альbedo 6.6%), найденные при ее фотометрических наблюдениях с телескопом Хаббла (Li et al., 2006) (Li et al., 2006). Таким образом, вопреки ранее отмечавшейся высокой однородности вещества Цереры (напр., Russell et al., 2004), полученные нами спектры отражения Цереры (рис. 1а, б) показывают, что ее поверхностное вещество все же имеет переменный состав, хотя, возможно, и близкий к углисто-хондритовому. Перечисленные особенности спектров отражения Цереры согласуются с недавно опубликованными данными об этом астероиде, полученными примерно в том же спектральном диапазоне (Perna et al., 2015). Там же подтверждается также наличие в спектре отражения Цереры слабой полосы поглощения с центром у 0.67 мкм, отчетливо видной на полученном нами спектре 3 (рис. 1б).

Высокий интерес к Церере объясняется тем, что она рассматривается как прототип планетного тела, испытавшего длительную тепловую эволюцию (начавшуюся в первые несколько миллионов лет с распада короткоживущих изотопов, а затем поддерживаемую долгоживущими изотопами) и дифференциацию недр (Russell et al., 2004; Thomas et al., 2005; McCord, Sotin, 2005; Castillo-Rogez, McCord, 2010; Castillo-Rogez, 2011). Этот процесс мог закончиться формированием силикатного или даже железо-силикатного ядра, а также внутреннего водного океана и ледяной

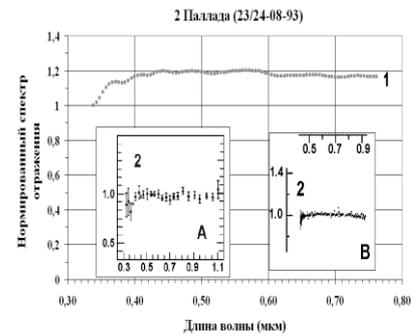
коры, которые после замерзания могли образовать сплошную ледяную мантию (Castillo-Rogez, McCord, 2010; Castillo-Rogez, 2011). Но низкое среднее значение геометрического альbedo (0.090, Li et al., 2006) и характеристики в инфракрасном (ИК) и микроволновом диапазонах (Lebofsky et al., 1981; Webster et al., 1988), показывают, что у Цереры нет значительного количества льда на поверхности. Она может быть покрыта преимущественно слоем сухой мелкой пыли с толщиной несколько сантиметров углисто-хондритового или глинистого состава, где вода сохраняется только в связанном состоянии, возможно, по причине космического выветривания и сублимации водяного льда (Webster et al., 1988). Такое предположение, вероятно, подтверждается выпуклой формой полученных нами спектров отражения Цереры 1 и 2 (рис. 1а). В то же время более точные и полные ответы на поставленные вопросы о строении и составе поверхности Цереры, а также о происхождении и характере ее эволюции должны быть получены в 2015 г., когда с ней сблизится космический аппарат Dawn (NASA).



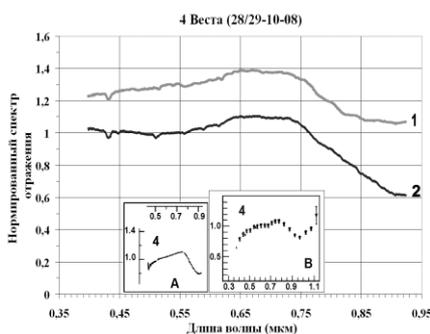
(1а)



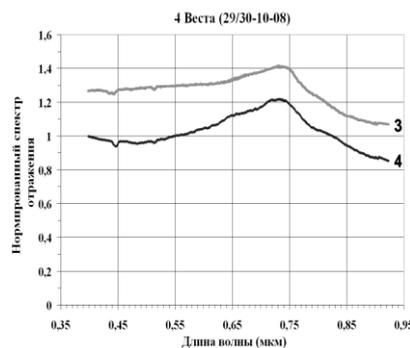
(1б)



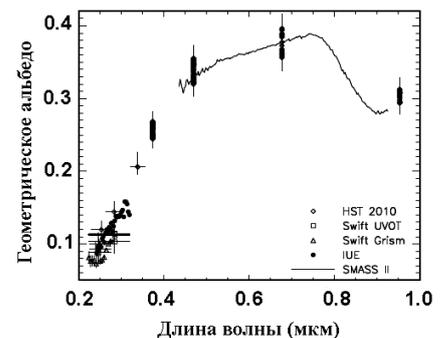
(2)



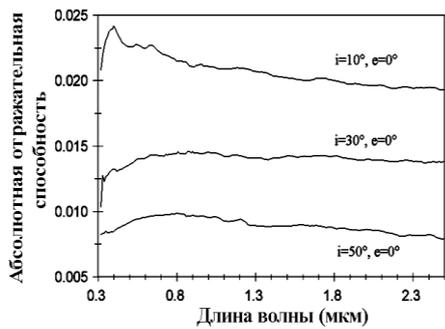
(3а)



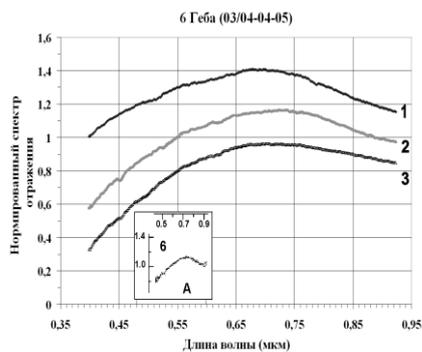
(3б)



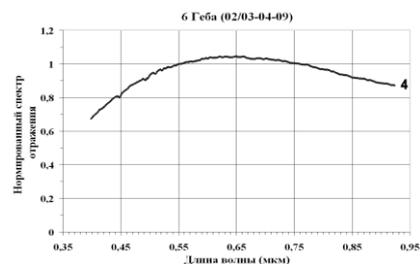
(3в)



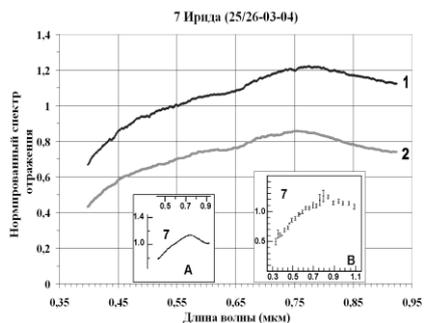
(3г)



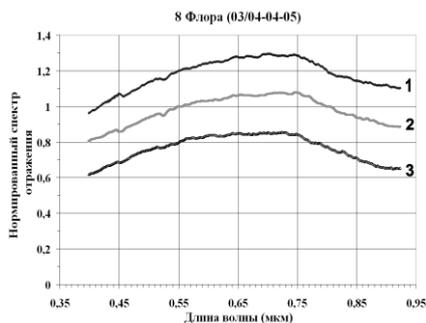
(4а)



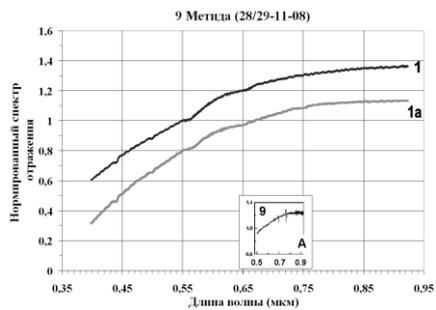
(4б)



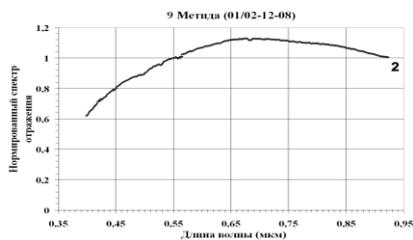
(5)



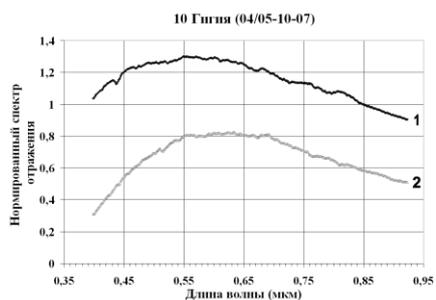
(6)



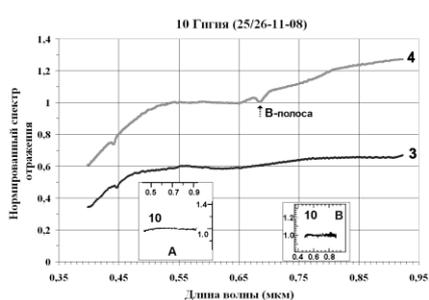
(7а)



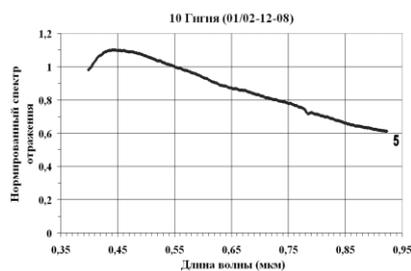
(7б)



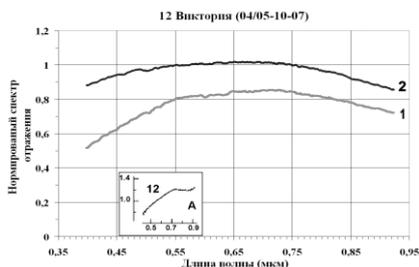
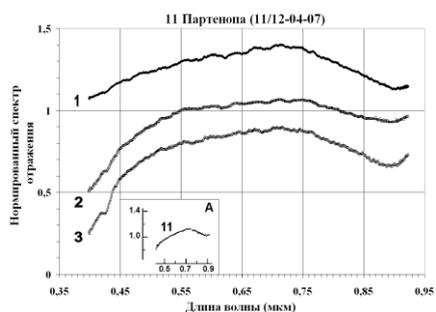
(8а)



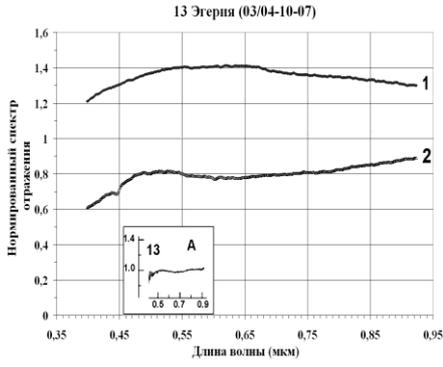
(8б)



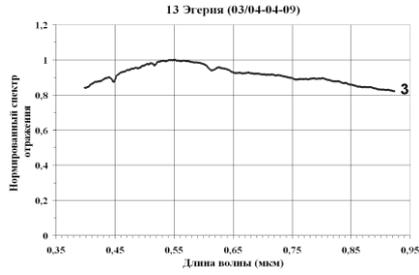
(8в)



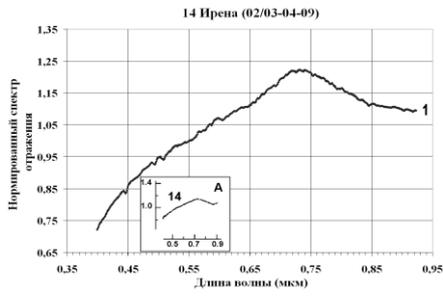
(9)



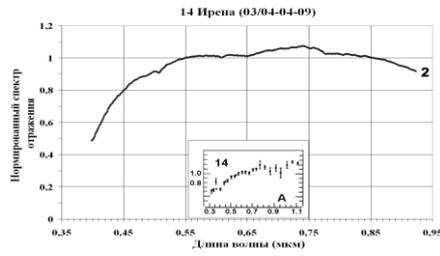
(10)



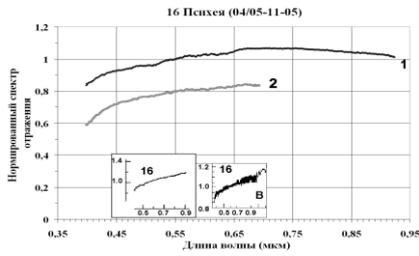
(11a)



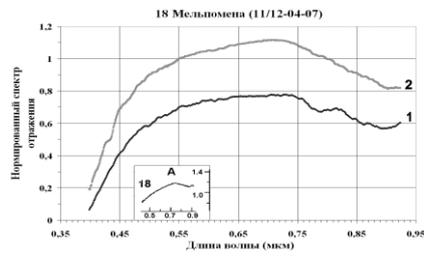
(11б)



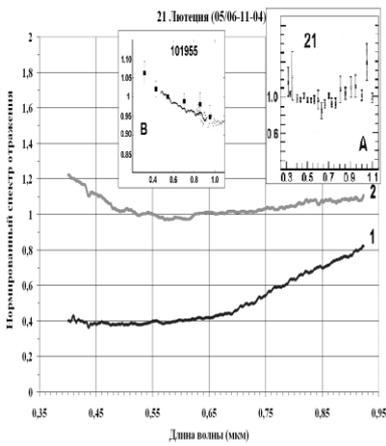
(12a)



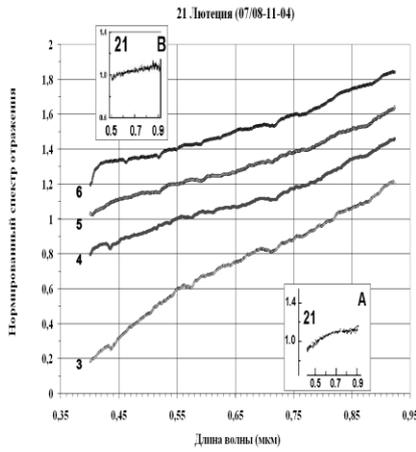
(12б)



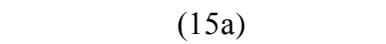
(13)



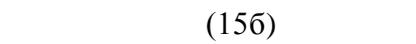
(14)



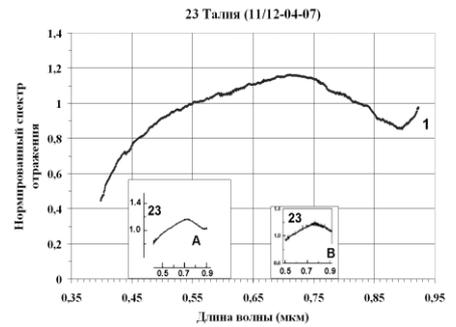
(15a)

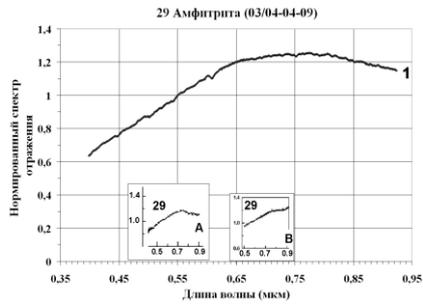


(15б)

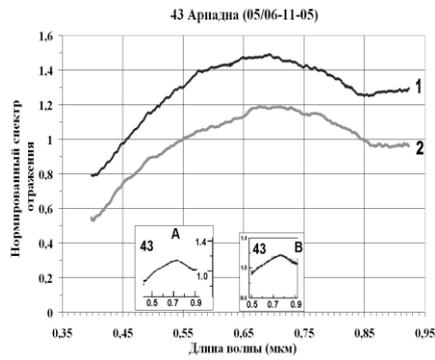


(16)

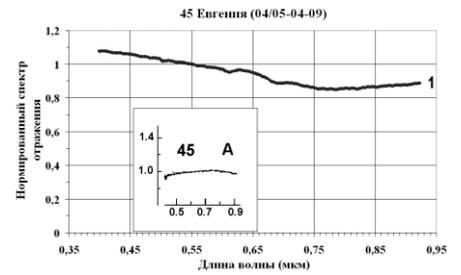




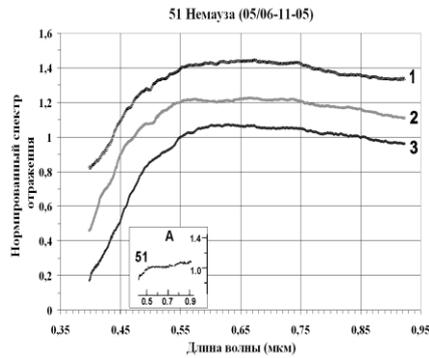
(17)



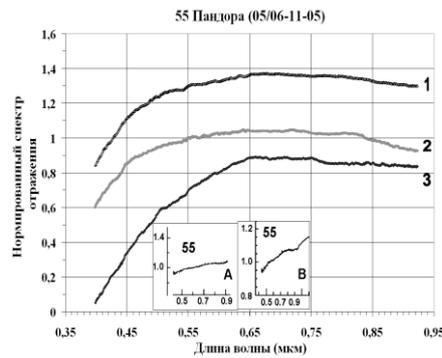
(18)



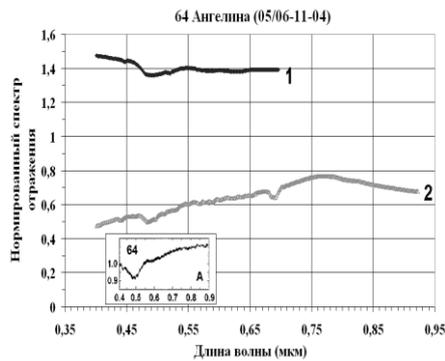
(19)



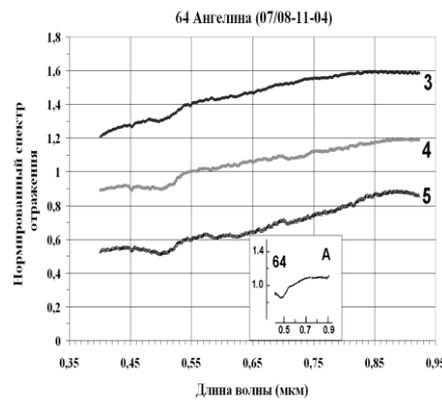
(20)



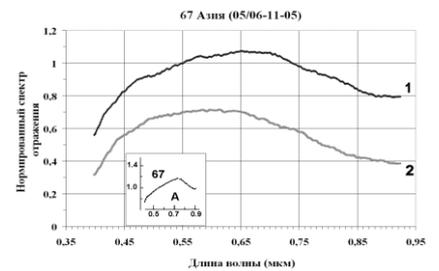
(21)



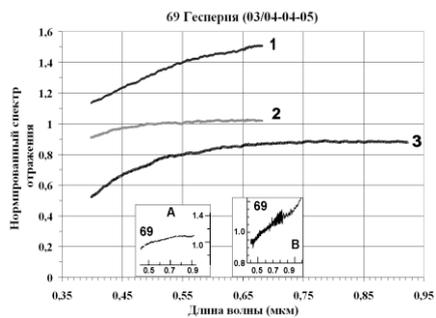
(22a)



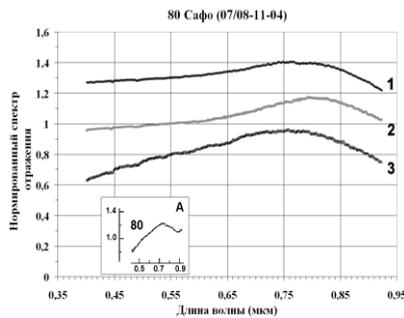
(22b)



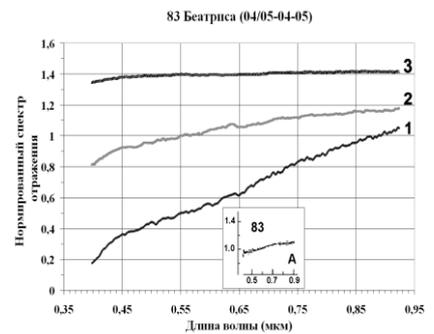
(23)



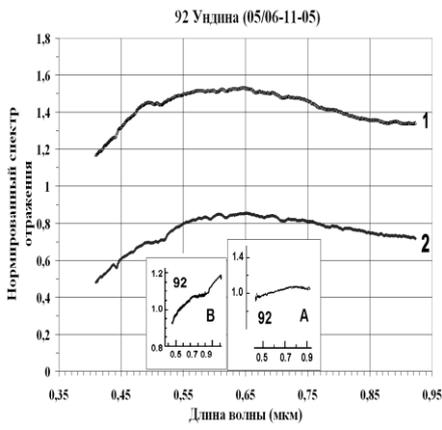
(24)



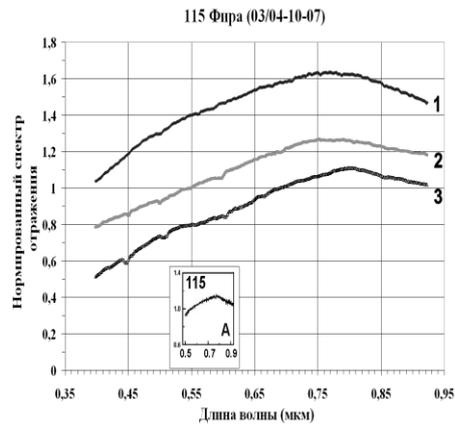
(25)



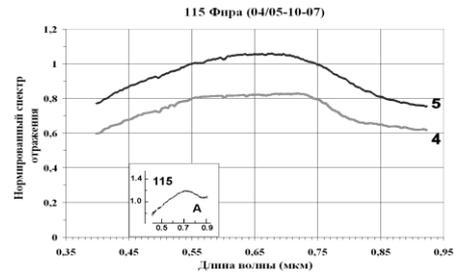
(26)



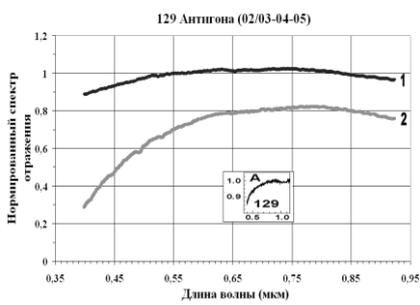
(27)



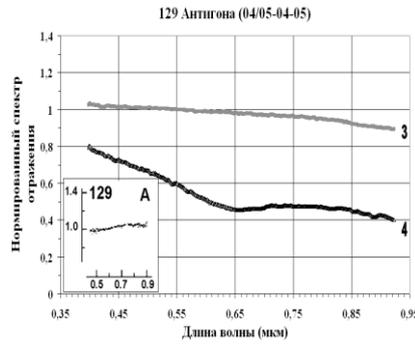
(28a)



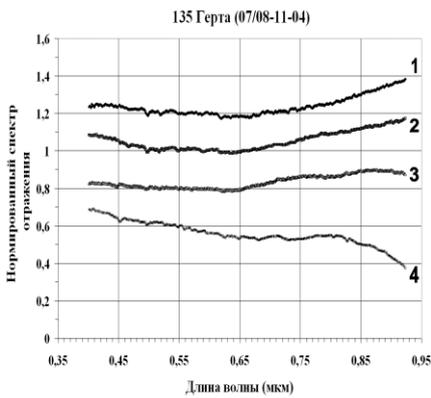
(28б)



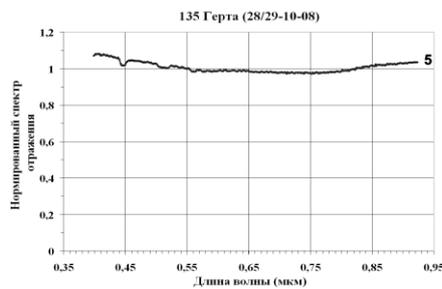
(29a)



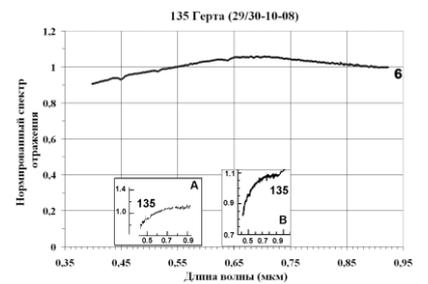
(29б)



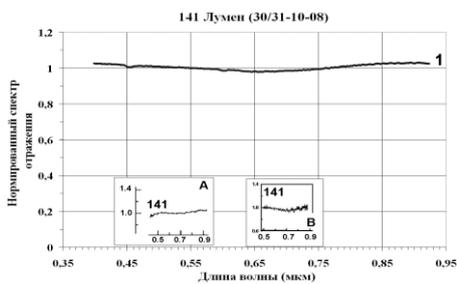
(30a)



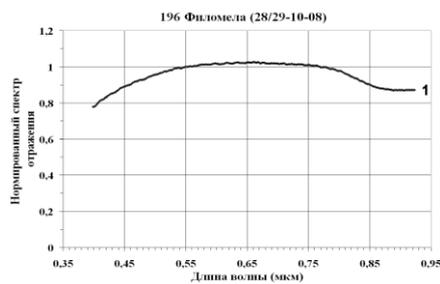
(30б)



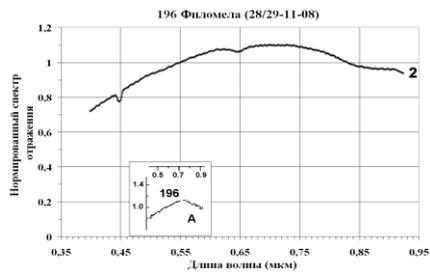
(30в)



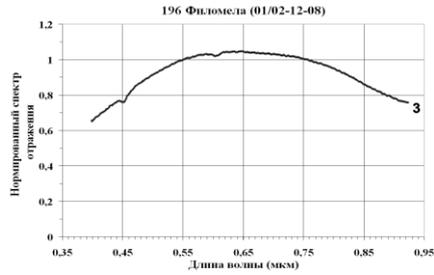
(31)



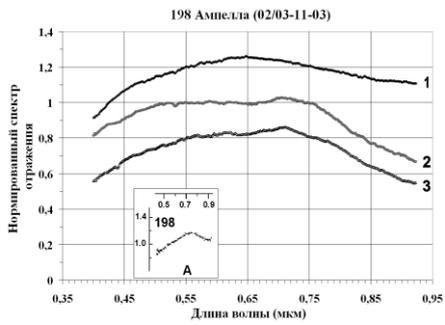
(32a)



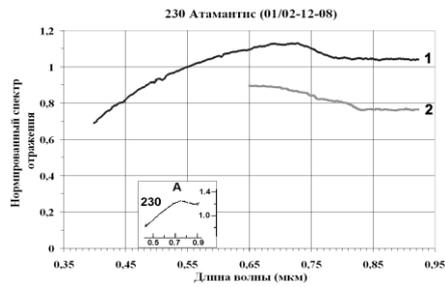
(32б)



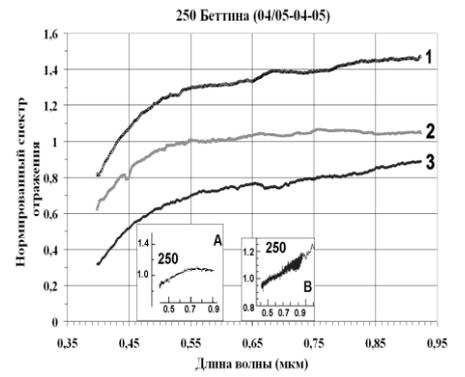
(32в)



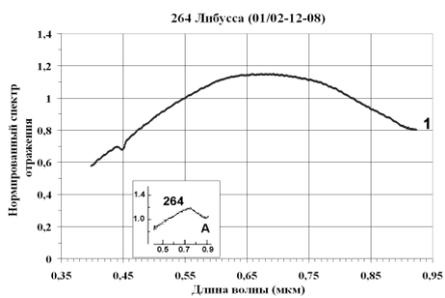
(33)



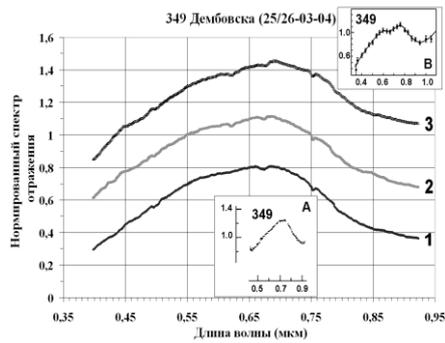
(34)



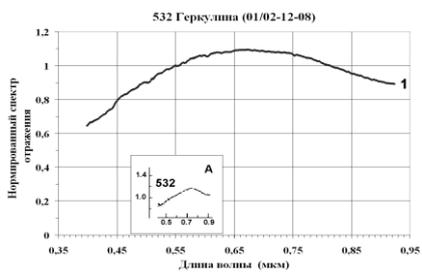
(35)



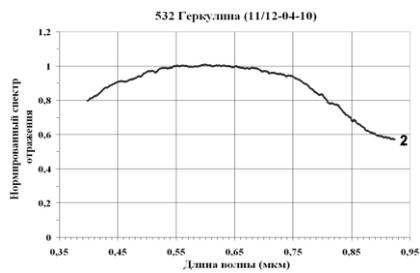
(36)



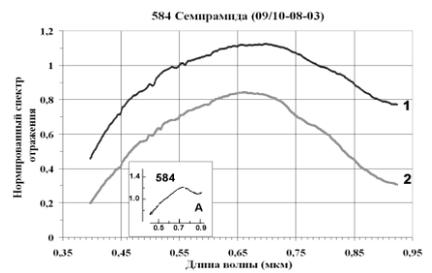
(37)



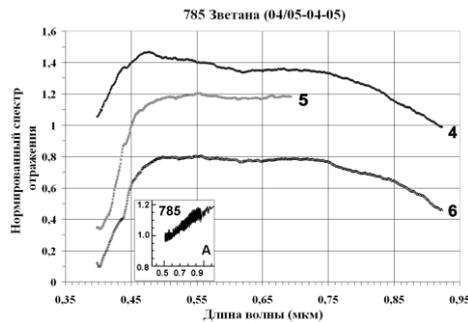
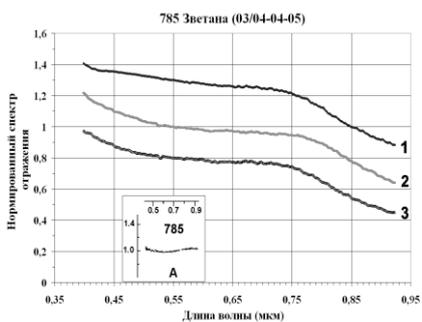
(38a)



(38б)



(39)



(40a)

(40б)

Рисунки 1-40. Представленные в одном масштабе сглаженные и нормированные (на значение СКЯ на $\lambda = 0.5503$ мкм) спектры отражения 40 астероидов Главного пояса, произвольно смещенные вдоль вертикальной оси для удобства сравнения (время регистрации спектров и соответствующие ОСКО указаны в табл. 1):

(1a и 1б) спектры отражения 1 Цереры; пары спектров 1 и 2, а также 3 и 4 соответствуют диаметрально противоположным сторонам астероида (см. табл. 1); для сравнения на рисунке 1a на вставке «А» приведен спектр отражения Цереры, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), на вставке «В» – спектр отражения Цереры из обзора S^3OS^2 (Lazzaro et al., 2004), а на рисунке 1б на вставке «С» представлен спектр отражения Цереры согласно Чапман и др. (Chapman et al., 1973);

(2) Спектры отражения 2 Паллады (1 и 2); для сравнения на вставке «А» приведен спектр отражения Паллады из наиболее ранней работы (Chapman et al., 1973), а на вставке «В» – полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(3a и 3б) спектры отражения 4 Весты (пары спектров 1 и 2, а также 3 и 4 соответствуют диаметрально противоположным сторонам астероида, см. табл. 1); для сравнения на рисунке 3a на вставке «А» приведен спектр отражения Весты, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), а на вставке «В» – спектр отражения астероида, полученный в более ранней работе (Chapman et al., 1973); (3в) – обобщенная информация (рисунок взят из работы Li et al., 2011) о спектральных характеристиках Весты согласно обзору SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и космическим данным HST 2010, Swift UVOT, Swift Grism и IUE (Li et al., 2011); (3г) – лабораторные спектры отражения кислотно-нерастворимых составляющих метеорита Murchison (CM2) (i – угол направления падающего света по отношению к нормали к плоскости образца, e – угол направления регистрации отраженного света, размер частиц – 55-63 мкм) (Cloutis et al., 2011a);

(4a и 4б) спектры отражения 6 Гебы; на рисунке 4a приведена вставка «А» со спектром отражения Гебы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(5) спектры отражения 7 Ириды; для сравнения на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Гебы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и из более ранней работы (Chapman et al., 1973), соответственно;

(6) спектры отражения 8 Флоры;

(7a и 7б) спектры отражения 9 Метиды (спектры 1 и 1a рассчитаны по ее одному исходному спектру, полученному 28-29 ноября 2008 г., но с разными солнечными аналогами – 16 Cyg B и HD 10307, соответственно; для сравнения на рисунке (7a) на вставке «А» приведен спектр отражения Метиды из обзора S^3OS^2 (Lazzaro et al., 2004);

(8a, 8б и 8в) спектры отражения 10 Гигии; на спектре 4 (рис. 8б) стрелкой указана остаточная теллурическая полоса «В» O_2 (Kurucz, 2005); для сравнения на рисунке 8б на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Гигии из работ (Bus, Binzel, 2002a) и (Fornasier et al., 2014), соответственно, а на рисунке рис. 8в – спектр 5, имеющий необычную форму с отрицательным градиентом во всем видимом диапазоне, полученный при предельно малом фазовом угле Гигии (0.9°) (более подробные пояснения см. в тексте).

(9) спектры отражения 11 Партенопы; на вставке «А» приведен спектр отражения Партенопы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(10) спектры отражения 12 Виктории; на вставке «А» приведен спектр отражения Виктории из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(11a и 11б) спектры отражения 13 Эгерии; на рисунке 11a на вставке «А» приведен спектр отражения Эгерии из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(12a и 12б) спектры отражения 14 Ирены; на рисунке 12a на вставке «А» приведен спектр отражения Ирены из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a); на рисунке 12б на вставке «А» приведен спектр отражения Ирены из более ранней работы (Charman et al., 1973), который хорошо согласуется со спектром 2;

(13) спектры отражения 16 Психеи; для сравнения на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Психеи из работ (Bus, Binzel, 2002a) и (Fornasier et al., 2010), соответственно;

(14) спектры отражения 18 Мельпомены; на вставке «А» приведен спектр отражения Мельпомены из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(15a и 15б) спектры отражения 21 Лютении; на рисунке 15a на вставке «А» представлен спектр отражения Лютении из ранней работы по спектрофотометрии астероидов (Charman et al., 1973), а на вставке «В» – спектры отражения астероида В-типа 101955 Бенну (Hergenrother et al., 2013) по данным спектрометрии (Clark et al., 2011) (маленькие точки, которые на длинах волн короче 0.9 мкм сливаются в сплошную линию) и ECAS-фотометрии (Hergenrother et al., 2013) (квадраты); на рисунке 15б на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Лютении из обзоров SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и S³OS² (Lazzaro et al., 2004), соответственно;

(16) спектр отражения 23 Талии; на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Талии из обзоров SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и S³OS² (Lazzaro et al., 2004), соответственно;

(17) спектр отражения 29 Амфитриты; на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Амфитриты из обзоров SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и S³OS² (Lazzaro et al., 2004), соответственно;

(18) спектры отражения 43 Ариадны; на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Ариадны из обзоров SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и S³OS² (Lazzaro et al., 2004), соответственно;

(19) спектр отражения 45 Евгении; на вставке «А» приведен спектр отражения Евгении из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(20) спектры отражения 51 Немаузы; на вставке «А» приведен спектр отражения Немаузы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(21) спектры отражения 55 Пандоры; для сравнения на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Пандоры из работ (Bus, Binzel, 2002a) и (Fornasier et al., 2010), соответственно;

(22a и 22б) спектры отражения 64 Ангелины; для сравнения на рисунке 22a на вставке «А» приведен спектр отражения Ангелины, полученный в работе Форназье с соавторами (Fornasier et al., 2008), а на рисунке 22б на вставке «А» – спектр отражения Ангелины из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(23) спектры отражения 67 Азии; на вставке «А» приведен спектр отражения Азии из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(24) спектры отражения 69 Гесперии; для сравнения на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Гесперии из работ (Bus, Binzel, 2002a) и (Fornasier et al., 2010), соответственно;

(25) спектры отражения 80 Сафо; на вставке «А» приведен спектр отражения Сафо из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(26) спектры отражения 83 Беатрисы; на вставке «А» приведен спектр отражения Беатрисы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(27) спектры отражения 92 Ундины; для сравнения на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Ундины из работ (Bus, Binzel, 2002a) и (Fornasier et al., 2011), соответственно;

(28a и 28б) спектры отражения 115 Фиры; на рисунке 28a на вставке «А» приведен спектр отражения Фиры, полученный в обзоре S³OS² (Lazzaro et al., 2004), а на рисунке 28б на вставке «А» приведен спектр отражения Фиры, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(29а и 29б) спектры отражения 129 Антигоны; на вставке «А» рисунка 29а приведен спектр отражения Антигоны из предшествующей работы (Fornasier et al., 2010); на вставке «А» рисунка 29б приведен спектр отражения Антигоны, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(30а, 30б и 30в) спектры отражения 135 Герты; на рисунке 30в на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Герты из предшествующих работ (Bus, Binzel, 2002a) и (Fornasier et al., 2011), соответственно;

(31) спектр отражения 141 Лумен; для сравнения на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Лумен из обзоров (Bus, Binzel, 2002a) и S^3OS^2 (Lazzaro et al., 2004), соответственно;

(32а, 32б и 32в) спектры отражения 196 Филомелы; на рисунке 32б на вставке «А» приведен спектр отражения Филомелы из работы (Bus, Binzel, 2002a);

(33) спектры отражения 198 Ампеллы; на вставке «А» приведен спектр отражения Ампеллы, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(34) спектры отражения 230 Атамантис (спектр 2 нормирован на длине волны 0.65 мкм); на вставке «А» приведен спектр отражения Атамантис, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(35) спектры отражения 250 Беттины; на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Беттины из работ (Bus, Binzel, 2002a) и (Fornasier et al., 2010), соответственно;

(36) спектр отражения 264 Либуссы; на вставке «А» приведен спектр отражения Либуссы, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(37) спектры отражения 349 Дембовской; на вставке «А» приведен спектр отражения Дембовской, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), а на вставке «В» – ее спектр отражения из более ранней работы (McCord, Chapman, 1975);

(38а и 38б) спектры отражения 532 Геркулины; на рисунке 38а на вставке «А» приведен спектр отражения Геркулины из работы (Bus, Binzel, 2002a);

(39) спектры отражения 584 Семирамиды; на вставке «А» приведен спектр отражения Семирамиды, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a);

(40а и 40б) спектры отражения 785 Зветаны; на рисунке 40а на вставке «А» приведен спектр отражения Зветаны из работы (Bus, Binzel, 2002a), а на рисунке 40б на вставке «А» – спектр отражения Зветаны из работы (Fornasier et al., 2010).

2 Паллада. При наблюдениях Паллады ($T_{вр.} = 7,^h813$; $p_v = 0,159$; $D = 498,1$ км; $S_p = B, B, B$) на телескопе Хаббла было уточнено значение ее размеров (582 x 556 x 500 км) при среднем значении диаметра 544 км (Schmidt et al., 2009). Кроме того, как установлено при тех же фотометрических исследованиях Паллады с телескопом Хаббла, вариации яркости на ее поверхности достигают $\pm 10\%$ по отношению к среднему уровню (Schmidt et al., 2009). Наблюдения в микроволновом диапазоне (Johnston et al., 1989) показали, что на Палладе нет признаков водяного льда, а ее поверхность может быть покрыта слоем тонкодисперсной пыли с толщиной ~ 6 см с углисто-хондритовым составом CI-CM-типа (Larson et al., 1983).

Приведенный спектр отражения Паллады (рис. 2) был получен на том же телескопе (1.25 м, ЗТЭ, Крым) 23/24 августа 1993 г. с помощью сканирующего спектрофотометра системы Черны-Тернера в диапазоне 0.35-0.76 мкм с разрешением $\sim 50\text{\AA}$. В качестве солнечного аналога была использована не имеющая признаков переменности звезда HD199999 (F5). Ее несколько более ранний спектральный тип по сравнению с Солнцем означает, что HD199999 имеет более слабые

фраунгоферовы линии. Однако по нашим оценкам такие различия (напр., Hardorp, 1980) существенно меньше использованного спектрального разрешения. Полученный спектр отражения Паллады с общим отрицательным градиентом во всем видимом диапазоне соответствует В-типу. Спектры отражения Паллады, опубликованные другими авторами, показаны на рисунке 2 на вставках "А" (Chapman et al., 1973) и "В" (Bus, Binzel, 2002a) и хорошо согласуются с нашим спектром. Таким образом, совпадение полученных в разное время (и, соответственно, при разных фазах вращения астероида) спектральных данных из трех независимых источников показывает, что Паллада имеет достаточно однородную по составу поверхность.

4 Веста. Астероид Веста ($T_{вр} = 5.342$; $p_v = 0.423$; $D = 468.3$ км; $S_p = V, V, V$) является третьим по величине и самым ярким астероидом, так как его геометрическое альbedo в 3-4 раза больше, чем p_v превышающих его по размеру Цереры и Паллады. С помощью телескопа Хаббла было получено уточненное среднее значение диаметра Весты – 530 км (Thomas et al., 1997).

Спектры отражения Весты, представленные на рисунках 3а и 3б, были получены при разных величинах относительной фазы вращения (ФВ, ее значения указаны в табл. 1, за нулевую условно принята ФВ первого по времени спектра) и, соответственно, при разной долготе субтерральной точки на Весте (L). Изображенные на рисунке 3а спектры отражения 1 и 2 были получены 28-29 октября 2008 г. (ФВ 0.000 и 0.133). Наиболее заметной спектральной деталью на них является коротковолновое крыло полосы поглощения ортопироксенов у 0.90 мкм, вызываемой разрешенными по спину электронными переходами в ионах Fe^{2+} , находящихся в позициях M2 (Платонов, 1976). Такая интерпретация полосы поглощения у 0.90 мкм подтверждается наличием на спектрах отражения Весты более слабой пироксеновой полосы поглощения у 0.51 мкм, вызываемой запрещенными по спину электронными переходами в ионах Fe^{2+} , как и в изученных образцах пироксенов (Платонов, 1976). Высокая интенсивность полосы поглощения пироксенов у 0,90 мкм, особенно на спектре 2 (рис. 3а), показывает, что минеральный состав поверхности Весты является преимущественно высокотемпературным (базальтовым), в котором преобладает ортопироксен. В то же время на спектрах имеется слабая полоса поглощения Fe^{3+} у 0.43-0.45 мкм с относительной интенсивностью 5-7%, что можно связать с наличием в поверхностном веществе примеси гидросиликатов типа серпентина. В интервале 0.40-0.65 мкм есть также различия в форме континуума (рис. 3а), меняющейся от плоской (кривая 1) до слегка вогнутой (кривая 2). Интерпретация этой особенности будет дана далее, поскольку она характерна для нескольких спектров отражения Весты. Спектры отражения 3 и 4 (рис. 3б) получены 29-30 октября 2008 г. при ФВ астероида 0.507 и 0.694, соответственно, то есть при диаметрально противоположной ориентации астероида по сравнению со спектрами 1 и 2. Здесь заметны более резкий максимум у 0.73 мкм, смещенная к 0.44-0.45 мкм и более слабая (~3-4%) полоса поглощения Fe^{3+} , а также слабая полоса пироксенов у 0.51 мкм. Следует отметить, что общей особенностью спектров

отражения 2 (ФВ 0.133) и 4 (ФВ 0.694) является их плоская или слегка вогнутая форма в диапазоне 0.45 – 0.65 мкм, характерная для гидросиликатов и углистых хондритов CI-CM (напр., Busarev, Taran, 2002; Cloutis et al., 2011a, 2011b). Интересно, что заметные вариации отражательной способности Весты с вращением в синей области (до 10% по величине отношения 0.43/0.56 мкм) были обнаружены при ее более ранних спектрофотометрических наблюдениях (Gaffey, 1997), но были объяснены как инструментальные погрешности, связанные со «старением» светофильтра на длине волны 0.43 мкм. На рисунке 3а на вставке «А» приведен спектр отражения Весты, полученный в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), а на вставке «В» – спектр отражения астероида, полученный в более ранней работе (Chapman et al., 1973), которые согласуются с нашими спектрами отражения. Важно отметить, что, как и на наших спектрах 2-4 (рис. 3а и 3б), у спектра отражения Весты на вставке «В» (Chapman et al., 1973) зарегистрирована плоская форма в интервале 0.55-0.70 мкм, характерная для вещества типа CI-CM. На рисунке 3в представлена обобщенная информация (исходный рисунок взят из Li et al., 2011) о спектральных характеристиках Весты согласно обзору SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и космическим данным HST 2010, Swift UVOT, Swift Grism и IUE (Li et al., 2011). Следует подчеркнуть, что вариации спектров отражения Весты с вращением (рис. 3а и 3б), по крайней мере, в диапазоне 0.50-0.70 мкм, не выходят за указанные пределы изменений приведенных данных (рис. 3в), предполагая, что они охватывают весь диапазон фаз вращения астероида. Однако средняя погрешность наших измерений вблизи коротковолновой границы (у 0.40-0.45 мкм) составляет 3-4% (Табл. 1) и может достигать 5-7% у самой границы. Поэтому, возможно, при полиномиальной экстраполяции континуума спектра здесь была переоценена величина его градиента. Но необходимо отметить еще один важный аспект. Так как Веста наблюдалась нами при малых световых фазовых углах ($\sim 4^\circ$) (табл. 1), вполне вероятно, что на спектрах отражения 2 и 4 (рис. 3а и 3б) в диапазоне 0.40-0.55 мкм сказывается влияние эффекта, который можно назвать фазо-спектральным (ЭФС), вызываемого наличием на поверхности астероида множества пятен темного вещества, обнаруженных с помощью КА Dawn (напр., McCord et al., 2012). Как установлено при лабораторных измерениях, ЭФС возникает при небольших фазовых углах (примерно $\leq 10^\circ$) у низкоальбедных материалов углисто-хондритового состава и приводит к необычной форме спектра отражения с отрицательным градиентом во всем видимом диапазоне и с нелинейным нарастанием его абсолютной величины к 0,4 мкм (рис. 3г) (Cloutis et al., 2011a). Механизм возникновения ЭФС еще не изучен теоретически (напр., Петрова, Тишковец, 2011), но можно предполагать, что он связан с особенностями оппозиционного эффекта в темноцветных материалах. Поскольку такие материалы не преобладают на поверхности Весты (McCord et al., 2012), то полученные особенности спектра отражения в диапазоне 0.40-0.55 мкм нуждаются в проверке посредством выполнения ее наблюдений при малых фазовых углах. Интересно, что

приведенные на рис. 3в данные наблюдений Весты с телескопом Хаббла на длинах волн 0.38, 0.48 и 0.70 мкм выполнены при фазовом угле астероида около 5° (Li et al., 2011) и показывают наибольший разброс значений спектрального геометрического альбедо при разных фазах вращения астероида (до 14-17%). Приведенный на этом же рисунке спектр отражения Весты из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) получен при фазовом угле астероида около 12° .

Вблизи долгот L субтерральной точки на Весте ($155^\circ - 195^\circ$), которым близки спектры 1 и 2 (рис. 3а) (см. табл. 1; L – долгота субтерральной точки на Весте, рассчитанная по формуле, взятой из работы Кохран и Вилас (Cochran, Vilas), 1998), японские специалисты обнаружили гидросиликаты, основываясь на присутствии в спектре отражения полосы поглощения у 3.0 мкм (Hasegawa et al., 2003). Благодаря обнаружению и идентификации в спектрах отражения Весты слабой полосы поглощения Fe^{3+} у 0.44 мкм, приписанной серпентину, с помощью спектрально-частотного метода (Бусарев и др., 2007) удалось оценить размеры пятен гидросиликатов на поверхности Весты (Прокофьева-Михайловская и др., 2008). Оказалось, что при среднем диаметре астероида 550 км более 50% размеров таких пятен составляют пятна в диапазоне от 50 до 13 км, что позволяет их связать с основной популяцией кратеров.

В целом, полученные нами спектральные характеристики астероида согласуются с более ранними данными других авторов (например, McCord et al., 1970; McFadden et al., 1977; Golubeva, Shestopalov, 1997; Gaffey, 1997). Средний спектр отражения Весты в видимом и ближнем ИК-диапазонах соответствует спектру кальциевого пироксена (Gaffey, 1997). Это было установлено по эмпирической зависимости отношения интенсивностей и положения пироксеновых полос поглощения у 0.90 и 2.00 мкм (Adams, 1974; Gaffey, 1984). Такой состав пироксена характерен также и для метеоритного семейства эвкритов, говардитов и диогенитов (HED), принадлежащего к базальтовым ахондритам (например, Duke, Silver, 1967; Drake, 1979; Zolensky et al., 1996). Родительскими телами этих магматических метеоритов могут быть как сама Веста, так и астероиды–вестоиды километрового размера, обнаруженные между орбитой Весты и орбитой, соответствующей резонансу 3:1 с Юпитером (Binzel, Xu, 1993). Наблюдательные факты и результаты моделирования тепловой эволюции Весты (например, Kevin, Drake, 1997) подтверждают образование на ней в прошлом высокотемпературного магматического океана и формирование в нем базальтовой коры, фрагментами которой могут быть HED-метеориты. Перечисленные результаты полностью подтвердились при детальных космических исследованиях Весты с космического аппарата “Dawn” (NASA) в 2011 г., находившегося на орбите в ее окрестностях около года. Но, несмотря на достоверно установленную раннюю магматическую эволюцию Весты, по космическим данным был обнаружен и целый ряд признаков углистых и гидратированных соединений в ее поверхностных слоях. На основе обобщения всех материалов съемки были построены карты распределения на поверхности Весты темного вещества (McCord et

al., 2012) и гидросиликатов (по диагностической полосе поглощения гидроксидов в ИК-диапазоне у 2.8 мкм) (de Sanctis et al., 2012), которые между собой не вполне совпадают. Оказалось, что темное вещество на Весте по спектральным характеристикам в среднем примерно соответствует минеральной смеси 80 вес. % пироксена (эвкрита) и 20 вес. % углистого хондрита группы CM2 (Reddy et al., 2012). Подтверждением содержания углито-хондритового вещества в поверхностном веществе Весты являются также класты (включения) такого материала в HED-метеоритах, как вероятных фрагментах Весты (Duke, Silver, 1967; Drake, 1979; Zolensky et al., 1996).

6 Геба. Все полученные нами 4 спектра отражения Гебы ($T_{вр} = 7.{}^h275$; $p_v = 0.268$; $D = 185.2$ км; $Sr = S, S$) (рис. 4а, б) в целом соответствуют ее установленному спектральному типу (Tholen, 1989; Bus, Binzel, 2002b), для которого типичен рост отражательной способности вещества от коротковолновой границы примерно до 0.70 мкм. Это характерно и для полученных нами спектров, на которых от максимума у 0.70 мкм происходит снижение спектрального альbedo до минимального значения за 0.92 мкм, связанного с присутствием пироксен-оливиновой полосы поглощения (рис. 4а, б). На спектрах 2-4 (рис. 4а, б) имеются признаки слабых полос поглощения у 0.45 мкм ($Fe^{3+?}$) и 0.68 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+?}$), которые можно интерпретировать как признаки более окисленного и/или гидратированного вещества. На рисунке 4а приведена вставка «А» со спектром отражения Гебы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), подобным нашим спектрам.

7 Ирида. Спектры отражения Ириды ($T_{вр} = 7.{}^h139$; $p_v = 0.277$; $D = 199.8$ км; $Sr = S, S, S$) (рис. 5) соответствуют ее установленному спектральному типу. Для сравнения на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Ириды из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и из более ранней работы (Charman et al., 1973), соответственно, которые хорошо согласуются с нашими. Ирида и Геба имеют близкие значения альbedo. Но у этих астероидов и похожая невысокая интенсивность оливин-пироксеновой полосы поглощения у 0.9 мкм. Это может быть признаком сходства состава вещества, либо значительного экспозиционного возраста обоих тел, с чем связана деградация спектральных деталей. Но в отличие от Гебы спектры отражения Ириды имеют более плоскую форму и заметную полосу поглощения у 0.65 мкм, которая, вероятно, возникает при переносе заряда между разновалентными ионами железа ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$), характерными для гидросиликатов и/или окисленных соединений. Близкая к ней полоса поглощения (у 0.70 мкм) есть и на спектре отражения на вставке «В» (Charman et al., 1973). На спектре 1 имеются также слабые полосы поглощения у 0.44 мкм (Fe^{3+}) и 0.50 мкм (Fe^{2+} или $Fe^{3+?}$).

8 Флора. Близкие по ФВ (табл. 1) спектры отражения Флоры ($T_{вр} = 12.{}^h799$; $p_v = 0.243$; $D = 135.9$ км; $Sr = S, Sw$) имеют практически совпадающие спектральные детали (рис. 6) и в основном соответствуют ее установленной классификации (Tholen, 1989; DeMeo et al., 2009). Спектральный тип "Sw" означает, что спектр отражения Флоры имеет большой наклон континуума, связанный, возможно, с более высоким экспозиционным возрастом поверхности по сравнению с другими S-

астероидами (DeMeo et al., 2009). На всех спектрах Флоры наблюдаются также разрешенная по спину у 0.90 мкм и слабая запрещенная по спину у 0.52 мкм полосы поглощения кристаллического поля в Fe^{2+} , принадлежащие, вероятно, ортопироксену (напр., Хоменко, Платонов, 1987).

В то же время полосы поглощения у 0.45-0.46 мкм (Fe^{3+}) и у 0.75-0.85 мкм (возникающие либо при переносе заряда $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$, либо при образовании обменно-связанных пар $Fe^{3+}-Fe^{3+}$), вероятно, указывают на присутствие на поверхности Флоры окисленного и/или гидратированного вещества.

9 Метида. Спектры отражения Метиды ($T_{вр} = 5.^h079$; $p_v = 0.231$; $D = 153.6$ км; $Sp = S$) представлены на рисунках 7 а, б. Спектры отражения 1 и 1а (рис. 7а) получены с использованием разных солнечных аналогов (16 Cyg В и HD 10307, соответственно), но демонстрируют совпадение общей формы и спектральных деталей – слабых полос поглощения у 0.44 мкм (Fe^{3+}) и у 0.65 мкм, характерных для окисленных и/или гидратированных металлических соединений. Слабая полоса поглощения у 0.56 мкм, вероятно, является признаком наличия пироксена (Klima et al., 2006), поскольку на всех спектрах имеется также и слабая полоса поглощения у 0.51 мкм. На вставке «А» (рис. 7а) приведен спектр отражения Метиды из обзора S^3OS^2 (Lazzaro et al., 2004), который в пределах ошибок совпадает с обоими спектром 1 (или 1а). Спектр отражения 2 демонстрирует заметно другую форму, с максимумом отражательной способности у 0.7 мкм и ее снижением к 0.9 мкм. Такая форма спектра отражения, вообще говоря, даже более типична для астероида S-типа (Tholen, Varucci, 1989), чем у 1-го спектра, и указывает на наличие пироксен-оливиновой полосы поглощения у 0.9 мкм. Вероятно, разница в форме спектров отражения 1 и 2 Метиды может быть связана с неоднородностью состава ее поверхностного вещества при некотором различии в относительной фазе вращения (≈ 0.1 , табл. 1). Но, поскольку этот результат основан всего на одном спектре, его достоверность нуждается в подтверждении при повторных наблюдениях астероида.

Особенностью Метиды может быть либо низкое содержание оливина и пироксена в поверхностном веществе в соответствии с незначительной интенсивностью полосы поглощения указанных минералов у 0.90 мкм, либо – большой экспозиционный возраст поверхности и, соответственно, дегградация кристаллического вещества под влиянием космогенных факторов.

10 Гигия. Два первых спектра 10 Гигии ($T_{вр} = 27.^h623$; $p_v = 0.072$; $D = 407.1$ км; $Sp = C, C, C$) были измерены 4/5 ноября 2007 г (рис. 8а). Они были получены с небольшой разницей времени (около получаса), поэтому обнаруженные на них различия оказались в пределах ошибок измерений (см. табл. 1), что и следовало ожидать для относительно медленно вращающегося астероида. Но форма этих спектров отражения не согласуется с установленным спектральным типом Гигии (C) и низкотемпературной минералогией (Gaffey et al., 1989; Gaffey et al., 2002) а, скорее, соответствует спектру отражения астероида S-типа (Gaffey et al., 1989) и минерала оливина

(напр., Платонов, 1976). Спектры Гигии при других значениях ФВ (рис. 8б, кривые 3 и 4) были зарегистрированы 25-26 ноября 2008 г. также с небольшой разницей времени (около часа). Хотя они имеют некоторые различия (~10-20%) в диапазоне 0.65-0.91 мкм, но в основном соответствуют установленному спектральному типу. Для сравнения на вставках «А» и «В» (рис. 8б) приведены спектры отражения Гигии других авторов (Bus, Binzel, 2002a и Fornasier et al., 2014, соответственно), которые хорошо согласуются с нашим спектром 3. На спектрах отражения 3 и 4 имеется слабая полоса поглощения Fe^{3+} у 0.44-0.45 мкм, подтверждающая низкотемпературную минералогию вещества. На этом же рисунке стрелкой указана (кривая 4) остаточная теллурическая полоса «В» O_2 (Kurucz, 2005). Последний спектр отражения Гигии, измеренный нами 1-2 декабря 2008 г. при ФВ 0.556 (рис. 8в, кривая 5), относится к противоположной стороне астероида. Форма этого спектра подобна усредненным спектрам отражения астероидов В- и F-типов, близких к С-типу (Tholen, Varuzzi, 1989), но имеет более отрицательный градиент во всем видимом диапазоне и заметно отличается от спектров Гигии, полученных при других ФВ. Важно подчеркнуть, что этот спектр отражения Гигии получен при предельно малом фазовом угле – всего 0.9° (Табл. 1). Можно предполагать, что форма этого спектра отражения Гигии ($p_v = 0.072$) определяется действием ЭФС. Как уже отмечалось, данный эффект возникает при малых фазовых углах у низкоальбедных материалов, включая углистые хондриты группы CI, являющихся аналогами вещества этого астероида, и приводит к необычной форме спектра отражения с отрицательным градиентом во всем видимом диапазоне (Cloutis et al., 2011a).

Таким образом, спектры отражения Гигии при разных ФВ свидетельствуют о значительной неоднородности состава ее поверхностного вещества, вызванной, вероятно, ударными процессами, о чем уже сообщалось ранее (Бусарев, 2011). Но поскольку все приведенные здесь спектры отражения Гигии соответствуют ее малым световым фазовым углам ($0.9-2.6^\circ$) (Табл. 1), то, скорее всего, их форма искажена, хотя и в разной степени, влиянием фазо-спектрального эффекта.

11 Партенопа. Полученные при близких значениях ФВ спектры отражения Партенопы ($T_{вр} = 13.^h7293$; $p_v = 0.180$; $D = 153.3$ км; $Sp = S, Sk, Sq$) (рис. 9) в основном характерны для S-типа. Но ее спектральная классификация “Sk” (Bus, Binzel, 2002b) означает, что форма спектров отражения все же является промежуточной между S- и K- типами. А спектральная классификация Партенопы как “Sq” (DeMeo et al., 2009) показывает, что значительная ширина полосы поглощения у 1 мкм на спектрах отражения сближает ее с Q-астероидами. Хотя поверхностное вещество Партенопы в основном, вероятно, состоит из пироксенов и оливинов (на всех спектрах у 0.90 мкм имеется сильная полоса поглощения), но может включать в качестве примеси и гидросиликаты, так как на всех спектрах есть слабая полоса поглощения у 0.43 мкм (Fe^{3+}). Кроме того, заметно меньший наклон коротковолновой части спектра 1 (рис. 9), возможно, характеризует локальное изменение

степени окисления поверхностного вещества астероида, (напр., Burns, 1993). Для сравнения на вставке «А» приведен спектр отражения Партенопы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), с которым лучше всего согласуется спектр 1 (рис. 9).

12 Виктория. Два спектра отражения Виктории, полученные при близких значениях ФВ (рис. 10), соответствуют S-типу ($T_{вр} = 8.6599$; $p_v = 0.177$; $D = 112.8$ км; $S_p = S, L$). А спектральная L- классификация (Bus, Binzel, 2002b) характеризует в качестве ее особенности крутой наклон континуума на длинах волн короче 0.75 мкм. Но это согласуется только с нашим спектром 1 (рис. 10). Кстати, с этим спектром хорошо согласуется (по общей форме и наклону, но отличается несколько большей интенсивностью полосы поглощения у 0.90 мкм) и спектр отражения Виктории из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), приведенный на вставке «А».

Вероятно, как и у Партенопы, разные наклоны коротковолновой части спектров отражения Виктории, описывают локальные изменения общей (для наблюдаемой полусферы) степени окисления поверхностного вещества. Кроме сравнительно слабой оливин-пироксеновой полосы поглощения у 0.90 мкм, что может указывать на достаточно высокий в среднем экспозиционный возраст поверхности астероида. В спектрах имеются слабые полосы поглощения тех же минералов у 0.50 (оливин) и 0.52 (пироксен) мкм (напр., Платонов, 1976), а также признаки полосы поглощения окисленных металлических соединений у 0.63 мкм (напр., Hiroi et al., 1996).

13 Эгерия. Полученные нами спектры отражения Эгерии ($T_{вр} = 7.045$; $p_v = 0.083$; $D = 207.6$ км; $S_p = G, Ch, Ch$) относятся примерно к одной ее стороне (рис. 11а, б). По классификации Толена (Tholen, 1989) она имеет тип “G”, близкий к C-типу, и тип “Ch” – согласно более поздним классификациям (Bus, Binzel, 2002b; DeMeo et al., 2009). Обозначение “Ch” означает резкое снижение отражательной способности астероида на длинах волн короче 0.5 мкм, наличие слабой и широкой полосы поглощения с центром у 0.7 мкм и появление положительного наклона континуума на длинах волн больше 1.1 мкм (DeMeo et al., 2009). Все описанные спектральные особенности Эгерии лучше всего подтверждаются нашим спектром 2 (рис. 11а), что можно рассматривать как проявление неоднородности состава ее поверхностного вещества. Этот спектр также хорошо согласуется со спектром отражения Эгерии из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) (вставка «А», рис. 11а).

Хотя спектры 1-3 (рис. 11а) получены при небольшой разнице ФВ, их форма в диапазоне 0.55-0.85 мкм меняется от выпуклой до вогнутой. Причиной вогнутой формы спектра отражения Эгерии является широкая полоса поглощения на указанных длинах волн (см. спектр 2), характерная для переноса заряда $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$, которая может быть вызвана наличием гидросиликатов. Неоднородность поверхностного вещества Эгерии, как и в случае Гигии, могла возникнуть при дегидратации вещества в местах образования крупных ударных кратеров. Такая оценка состава вещества Эгерии, как смеси низкотемпературных и дегидратированных минералов,

подтверждается наличием слабых полос поглощения у 0.44 мкм (Fe^{3+}) на спектрах 2 и 3, у 0.52 мкм (Fe^{2+}) и 0.62 мкм (окисленных металлических соединений) на спектре 3 (рис. 11б), а также признаками полосы поглощения у 0.90 мкм (Fe^{2+}) на спектрах 1 и 3.

14 Ирена. Одинаковый спектральный тип Ирены ($T_{\text{вр}} = 15.{}^{\text{h}}06$; $p_{\text{рад}} = 0.159$; $D = 182.0$ км; $S_p = S, S, S$) во всех классификациях означает, что получены подтверждения ее преимущественно высокотемпературного состава вещества (Gaffey et al., 1989). Но 2 спектра отражения, полученные при разных ФВ Ирены (рис. 12а, б), свидетельствуют о неоднородности ее поверхностного состава. Имеются признаки не только высокотемпературных минералов (значительная оливин-пироксеновая полоса поглощения у 0.9 мкм на спектре 1 и слабые пироксеновые полосы поглощения у 0.51 и 0.55 мкм на обоих спектрах), но и низкотемпературных соединений (слабые полосы поглощения у 0.45 и 0.65 мкм) (см. рис. 12 а, б). Такой вывод согласуется со спектрами Ирены, полученными другими авторами. На рисунке (12а) на вставке «А» приведен спектр отражения Ирены из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), который близок к спектру 1, а на рисунке (12б) на вставке «А» показан спектр отражения Ирены из более ранней работы (Charman et al., 1973), который совпадает в пределах ошибок со спектром 2. Возможно, по причине такого разнообразия результатов имели место вышеупомянутые проблемы с оценкой среднего значения альбедо и диаметра этого астероида. Кстати, приведенное значение альбедо Ирены является нетипично низким для астероидов S-типа.

16 Психея. Спектры отражения Психеи ($T_{\text{вр}} = 4.{}^{\text{h}}196$; $p_v = 0.120$; $D = 253.2$ км; $S_p = M, X, X_k$), характеризуют ее как астероид M-типа (рис. 13). Для сравнения на вставках «А» и «В» показаны спектры отражения Психеи из работ других авторов (Bus, Binzel, 2002a и Fornasier et al., 2010, соответственно), с которыми согласуются полученные нами спектры. Классификация Психеи как астероида M-типа (Tholen, 1989) и высокое значение ее радиолокационного альбедо (Shepard et al., 2010) означает, что в составе поверхностного вещества Психеи преобладают металлические (Fe-Ni) соединения (Gaffey et al., 1989). Согласно спектральной классификации “X” (Bus, Binzel, 2002b), в спектрах отражения Психеи нет значительных полос поглощения, но могут быть слабые на УФ границе и у 0.9 мкм, а цвет может меняться от «серого» до умеренно «красного». Классификация “Xk” (DeMeo et al., 2009) описывает спектры Психеи как слегка выпуклые, с признаками полосы поглощения между 0.85 и 1.0 мкм. Очень слабые полосы поглощения на Психеи у 0.50-0.51 мкм и 0.62-0.63 мкм и снижение отражательной способности к 0.90 мкм (рис. 13, спектр 1) показывают, что ее вещество может включать не только высокотемпературные силикатные соединения типа оливина и пироксена, но и небольшое количество низкотемпературных силикатов и окислов. Спектральные ИК исследования Психеи в области 3 мкм, то есть вблизи диагностических полос поглощения гидросиликатов и водяного льда

положительных результатов не дали (Rivkin et al., 2000). Но такое заключение было сделано всего по 3 спектрам отражения, на которых различия в области 3 мкм достигали 7% (Rivkin et al., 2000).

18 Мельпомена. Спектры отражения Мельпомены ($T_{вр} = 11.157$; $p_v = 0.223$; $D = 140.6$ км; $S_p = S, S, S$), полученные при близких ФВ (рис. 14), подтверждают ее установленный спектральный тип и преимущественно высокотемпературную минералогию (имеется значительная оливин-пироксеновая полоса поглощения у 0.90 мкм). На вставке «А» приведен спектр отражения Мельпомены из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), с которым хорошо согласуются подобные по форме спектры 1 и 2 (рис. 14). На Мельпомене, вероятно, есть образования с разной степенью окисления или гидратации вещества, что подтверждается слабыми полосами поглощения у 0.43 и 0.46 мкм ($Fe^{3+?}$) (спектр 2) и в диапазоне 0.76-0.90 мкм (спектр 1). Возможными механизмами их возникновения являются перенос заряда $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ и/или электронные переходы между энергетическими уровнями обменно-связанных пар $Fe^{3+}-Fe^{3+}$ в поверхностном веществе Мельпомены (Платонов, 1976; Бахтин, 1985; Burns, 1993).

21 Лютеция. На рисунках 15 а и б изображены нормированные спектры отражения Лютеции ($T_{вр} = 8.166$; $p_v = 0.221$; $D = 95.8$ км; $S_p = M, Xk, Xc$), полученные в разное время и при разных ФВ (см. табл. 1). Согласно таксономической классификации Толена (Tholen, 1989) астероид имеет М-тип, по классификации Бас (Bus, Binzel, 2002b) – Xk-тип (с умеренно "красным" континуумом короче 0.75 мкм и плоским континуум на более длинных волнах), а по классификации Бас-ДеМео (DeMeo et al., 2009) – Xc-тип (с наклоном континуума от малого до среднего и слегка выпуклой формой спектра). Спектр отражения Лютеции в диапазоне 0.40-2.4 мкм, усредненный на периоде вращения, отсутствуют полосы поглощения мафических (высокотемпературных) минералов у 0.9 и 1.9 мкм и он имеет выпуклую форму (Ockert-Bell et al., 2010). Но с этим средним спектром не согласуются спектры отражения 1 и 2 Лютеции, зарегистрированные нами 5-6 ноября 2004 г. при близких значениях ФВ (0.000-0.025) (рис. 15а). Они имеют форму от плоской до вогнутой, типичную для примитивных BGF-астероидов, близких к С-астероидам. Как уже нами отмечалось (Бусарев, 2010), такая форма спектров отражения в видимом диапазоне свойственна обогащенным гидросиликатами углистым хондритам, что объясняется наличием в веществе катионов Fe^{2+} и Fe^{3+} и их электронным взаимодействием. Более того, в спектрах отражения Лютеции имеется еще один индикатор присутствия Fe^{3+} – слабая полоса поглощения у 0.43-0.45 мкм (рис. 15а) (Busarev et al., 2004b). Достоверность таких локальных спектральных характеристик Лютеции подтверждается предшествующими спектрофотометрическими данными (Charman et al., 1973) (рис. 15а, вставка «А»). На том же рисунке на вставке «В» мы поместили для сравнения спектр астероида В-типа 101955 Бенну (Hergenrother et al., 2013) по данным спектрометрии (Clark et al., 2011) и ECAS-фотометрии (Hergenrother et al., 2013), который доказывает реальность существования на поверхности астероидов вещества с подобными спектральными характеристиками. Как показало

лабораторное моделирование, такие характеристики имеет раздробленное вещество (<125 микрон) метеорита CI-типа Ивуна (Ivuna), нагретое до 700°C (Clark et al., 2011; Cloutis et al. 2011a). Обсуждаемые особенности спектров отражения 1 и 2 Лютеции (рис. 15а) могут быть связаны и с действием вышеупомянутого ЭФС. Они соответствуют той стороне астероида, которая покрыта углисто-хондритовым и/или гидратированным веществом, что подтверждается рядом перечисленных выше спектральных особенностей, и получены при фазовом угле астероида 2.5° (при общем диапазоне фазовых углов всех представленных спектров 2.5-3.3°) (табл. 1). Существенно другая форма, со значительным положительным градиентом, была у спектров отражения Лютеции 7-8 ноября 2004 г. (рис. 15б), которые соответствовали ее диаметрально противоположной стороне (ФВ 0.545-0.585). Общими деталями на этих спектрах являются слабые полосы поглощения у 0.43-0.45 мкм (Fe^{3+}) и 0.52 (Fe^{2+}) мкм, а также полоса поглощения у 0.71-0.72 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$?). Спектры отражения 3-6 (рис. 15б) хорошо согласуются со спектрами Лютеции из других работ, приведенных на вставках «А» (Bus, Binzel, 2002a) и «В» (Lazzaro et al., 2004). Следует подчеркнуть, что спектры отражения Лютеции 1-6 (рисунки 15 а и б), представлены в хронологической последовательности и охватывают весь период ее вращения (см. табл. 1). Они свидетельствуют о значительной переменности спектральных характеристик (от C-G до M-S-типов) и, следовательно, состава вещества этого астероида от углисто-хондритового до высокотемпературного (оливин-пироксенового) и/или включающего металлическое железо. Необходимо отметить, что значительные вариации формы и наклона спектра отражения Лютеции с вращением в диапазоне 0.53-0.80 мкм, соответствующие C-X-типам, были установлены также итальянскими и французскими специалистами (Lazzarin et al., 2010). Кроме того, наличие воды в связанном состоянии на поверхности Лютеции ранее было обнаружено по отчетливой полосе поглощения гидросиликатов у 3 мкм в ее спектре отражения (Rivkin et al., 2000).

Наш повышенный интерес к Лютеции был вызван не только тем, что она была избрана объектом космической миссии Rosetta (ESA), но и значительной неоднородностью ее фотометрических свойств (напр., Dotto et al., 1992; Michalowski, 1996). Нами были проведены детальное изучение спектров отражения и оценка спектрального типа этого астероида (Busarev et al., 2004b; Прокофьева и др., 2005). Большое количество наблюдательных данных о Лютеции позволило нам уверенно обнаружить в ее спектрах отражения слабую полосу поглощения гидросиликатов у 0.44 мкм (Busarev et al., 2004a; Busarev et al., 2004b). С другой стороны, при спектральных лабораторных исследованиях низкожелезистых серпентинов, демонстрирующих в спектрах отражения значительную интенсивность полосы поглощения у 0.44 мкм, мы установили высокую корреляцию ее интегральной интенсивности с содержанием Fe^{3+} (Busarev et al., 2008). По вариациям последней в хронологической последовательности спектров отражения Лютеции с помощью спектрально-частотного метода нам удалось обнаружить на поверхности астероида

пятна гидросиликатов с размерами в пределах от 3 до 70 км (Прокофьева и др., 2005; Бусарев и др., 2007). Наличие темных пятен на поверхности астероида подтвердила его съемка в 2010 г. КА Rosetta на пролетной траектории (http://www.esa.int/images/6_Lutetia_OSIRIS_LAM_2,0.jpg), которые, как и на Весте, можно интерпретировать как следы падения тел углисто-хондритового состава. Интересно, что на космических снимках не заметно какой-либо связи этих темных пятен с последней кратерной популяцией, что может быть признаком их более древнего возраста.

23 Талия. Спектр отражения Талии ($T_{вр} = 12.^h3122$; $p_v = 0.254$; $D = 107.5$ км; $Sp = S, S$) (рис. 16) в основном подтверждает ее установленный спектральный тип (Tholen, 1989; Bus, Binzel, 2002b) и высокотемпературную минералогию. Он хорошо согласуется с данными других авторов: на вставках «А» и «В» (рис. 16) приведены спектры отражения Талии из обзоров SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и S^3OS^2 (Lazzaro et al., 2004), соответственно. Положение центра сильной полосы поглощения у 0.90 мкм (Fe^{2+}) характеризует состав поверхностного вещества этого астероида как преимущественно ортопироксеновый (напр., Платонов, 1976; Хоменко, Платонов, 1987). В то же время на присутствие некоторого количества гидросиликатов и/или окисленных соединений указывают слабые полосы поглощения на длинах волн 0.44-0.45 мкм (Fe^{3+} ?) и у 0.60-0.62 мкм (рис. 16).

29 Амфитрита. Полученный единственный спектр отражения Амфитриты ($T_{вр} = 5.^h392$; $p_v = 0.179$; $D = 212.2$ км; $Sp = S, S, S$) (рис. 17) согласуется с ее установленным спектральным типом и высокотемпературной минералогией (признаки заметной оливин-пироксеновой полосы поглощения у 0.90 мкм и слабая пироксеновая полоса поглощения у 0.51 мкм). Этот спектр Амфитриты близок к ее спектрам отражения из обзоров SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) (вставка «А») и S^3OS^2 (Lazzaro et al., 2004) (вставка «В»), хотя на последних оливин-пироксеновая полоса поглощения у 0.90 мкм имеет разную интенсивность. Вероятно, это указывает на неоднородности состава поверхностного вещества астероида. На полученном нами спектре Амфитриты имеются слабые полосы поглощения у 0.45 мкм (Fe^{3+} в гидратированных материалах?) и у 0.61 мкм (окисленные металлические соединения?). Такие низкотемпературные соединения могут быть в поверхностном веществе астероида в виде примеси или отдельных образований.

43 Ариадна. Два спектра отражения Ариадны ($T_{вр} = 5.^h762$; $p_v = 0.274$; $D = 65.9$ км; $Sp = S, Sk, Sq$) (рис. 18), полученные при небольшой разнице ФВ согласуются с ее установленной комбинацией спектральных типов. Полученные нами спектры отражения Ариадны близки к предшествующим спектральным данным. На вставках «А» и «В» (рис. 18) приведены спектры отражения Ариадны из обзоров SMASS II и S^3OS^2 (Bus, Binzel, 2002a и Lazzaro et al., 2004, соответственно). Спектральная классификация “Sk” (Bus, Binzel, 2002b; DeMeo et al., 2009) показывает, что форма спектров отражения Ариадны является промежуточной между типами “S” и “K”. А классификация “Sq” (DeMeo et al., 2009) означает, что широкая полоса поглощения у 1

мкм сближает Ариадну с астероидами Q-типа. Преобладающая высокотемпературная минералогия Ариадны характеризуется значительной оливин-пироксеновой полосой поглощения у 0.90 мкм и слабой пироксеновой полосой поглощения у 0.51 мкм. Новой обнаруженной особенностью по сравнению с упомянутыми данными, как мы полагаем, является искаженное коротковолновое крыло полосы поглощения у 0.90 мкм (см. рис. 18), что может быть признаком суперпозиции с ней полосы поглощения на длинах волн 0.81-0.88 мкм ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ или переходы в обменно-связанных парах катионов Fe^{3+} - Fe^{3+} ?). Кроме того, в спектрах имеются слабые полосы поглощения окисленных соединений у 0.62-0.65 мкм. Последние спектральные детали, вероятно, являются признаками окисленного и/или гидратированного вещества на поверхности Ариадны.

45 Евгения. Нами был получен только один спектр отражения 45 Евгении ($T_{\text{вр}} = 5.{}^{\text{h}}699$; $p_v = 0.040$; $D = 214.6$ км; $\text{Sp} = \text{FC}, \text{C}$) (рис. 19). Таксономические классификации характеризуют ее как астероид примитивного F–C-типа (Tholen, 1989), или C-типа (Bus, Binzel, 2002b). Форма спектра отражения Евгении не совпадает с ее ранее полученным в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) (вставка «А»), но и не противоречит вышеуказанной спектральной классификации. На спектре отражения Евгении имеется значительная и широкая полоса поглощения с центром у 0.78 мкм (наиболее вероятно – как результат переноса заряда $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$). Имеющиеся на спектре (рис. 19) слабые полосы поглощения могут быть индикаторами примеси в поверхностном веществе пироксена (полоса у 0.51 мкм) и окисленных металлических соединений (полоса у 0.62 мкм). Несмотря на установленный примитивный тип и очень низкое альbedo, Евгения имеет короткий период вращения при достаточно большом диаметре, что можно рассматривать в качестве признаков повышенной плотности и высокотемпературного состава ее недр. Это позволяет предположить, что Евгения имеет неоднородную внутреннюю структуру, возникшую при магматической дифференциации в ранний период при распаде ${}^{26}\text{Al}$ (McSween et al., 2002). Не исключено, что внешняя оболочка Евгении образовалась при более поздней аккреции примитивного вещества типа углистых хондритов (Busarev, 2012).

51 Немауза. Общая форма спектров отражения Немаузы ($T_{\text{вр}} = 7.{}^{\text{h}}783$; $p_v = 0.093$; $D = 147.9$ км; $\text{Sp} = \text{CU}, \text{Ch}, \text{Cgh}$), полученных при небольшой разнице ее ФВ (рис. 20, кривые 1-3), подтверждает ее спектральную классификацию как астероида C-U-типа (обозначение “U” происходит от английского слова «неизвестный») (Tholen, 1989), Ch-типа (C-астероид с резким падением отражательной способности в УФ-диапазоне и широкой, но неглубокой полосой поглощения с центром у 0,7 мкм) (Bus, Binzel, 2002b) и Cgh-типа (который подобен Ch-типу, но с положительным наклоном континуума от 1,1 мкм и далее) с примитивной минералогией (Gaffey et al., 1989; Gaffey et al., 2002). По результатам ИК-исследований Немаузы в области 3 мкм у нее обнаружены признаки наличия гидратированных силикатов (Lebofsky, 1980). В то же время, на полученных нами спектрах отражения Немаузы есть детали, которые могут быть признаком

наличия некоторого количества высокотемпературных минералов. Такими деталями являются слабые комбинированные оливин-пироксеновые полосы поглощения у 0.90 мкм (Fe^{2+}) и у 0.50-0.54 мкм (Fe^{2+}) мкм (кривая 1). На спектрах также имеются слабые полосы поглощения, связанные, по-видимому, с наличием в веществе разновалентных форм железа – у 0.42-0.45 мкм ($\text{Fe}^{3+?}$), у 0.57-0.65 мкм ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+?}$) (кривая 2), у 0.75-0.90 мкм ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+?}$) (кривая 1). Возможно, что Немауза представляет собой не полностью дифференцированный астероид. Такое предположение подтверждается спектром отражения Немаузы на вставке "А" (Bus, Binzel, 2002a) на котором явно видна полоса поглощения с центром у 0.70 мкм ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$).

55 Пандора. Три спектра отражения Пандоры ($T_{\text{вр}} = 4.^{\text{h}}804$; $p_v = 0.301$; $D = 66.7$ км; $Sp = M, X, X_k$), полученные при мало отличающихся ФВ (рис. 21), согласуются с ее установленной спектральной классификацией и преимущественно высокотемпературным и/или металлическим составом поверхности (напр., Gaffey et al., 1989). Короткий период вращения и достаточно высокое альbedo являются подтверждениями высокой плотности и высокотемпературного состава вещества. В то же время на спектрах Пандоры есть детали, которые можно связать с наличием на ее поверхности и низкотемпературных (более окисленных или гидратированных) соединений. В частности, форма спектра отражения 2 соответствует астероиду S-типа со слабой пироксен-оливиновой полосой поглощения у 0.90 мкм. Но слабая полоса поглощения у 0.44 мкм ($\text{Fe}^{3+?}$) на том же спектре, по-видимому, является признаком гидросиликатов. Значительные вариации наклона спектров отражения Пандоры в коротковолновой области даже при близких значениях ФВ (рис. 21) и, следовательно, степени окисления вещества подтверждаются данными других авторов (на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Пандоры из работ Bus, Binzel, 2002a и Fornasier et al., 2010, соответственно). Это согласуется с ИК-исследованиями Пандоры, в результате которых была обнаружена полоса поглощения гидратированных соединений в области 3 мкм (Rivkin et al., 2000).

64 Ангелина. Полученные в течение двух ночей спектры отражения Ангелины ($T_{\text{вр}} = 8.^{\text{h}}752$; $p_v = 0.405$; $D = 61.4$ км; $Sp = E, Xe, Xe$) (рис. 22а, б) охватывают примерно четверть периода ее вращения (табл. 1). Они соответствуют ее классификации как астероида E-типа (Tholen, 1989) или Xe-типа с умеренно положительным общим наклоном континуума, серией слабых полос поглощения в коротковолновой области, из которых более интенсивна полоса с центром у 0.49 мкм, а также с эпизодическими полосами поглощения (слабой у 0.60 мкм и более сильной за 0.75 мкм) (Bus, Binzel, 2002b; DeMeo et al., 2009). Для астероидов указанных типов свойственно преобладание в веществе высокотемпературного минерала энстатита (безжелезистого магнезиального пироксена) (Gaffey et al., 1989; Gaffey et al., 2002). Изучение спектральных характеристик многих астероидов E-типа и поиск для них минеральных аналогов позволил более точно классифицировать Ангелину как астероид E(II)-субтипа, особенностью которого является

наличие в спектре отражения сильной полосы поглощения у 0.49 мкм, типичной для минерала ольдгамита или сульфида кальция (CaS) (Gaffey, Kelley, 2004). Возникновение этой полосы объясняется содержанием в минерале небольшого количества Fe^{2+} , что подтверждается наличием в его спектре отражения и слабой полосы поглощения у 0.90 мкм (Gaffey, Kelley, 2004). Признаки последней на спектрах 2 и 5 (рис. 22а, б) указывают на преимущественно высокотемпературную минералогию Ангелины. Перечисленные спектральные особенности (значительная полоса поглощения у 0.49 мкм и слабые полосы поглощения у 0.43-0.45 мкм) согласуются с данными других авторов: на рисунках 22а и 22б на вставках «А» приведены спектры отражения Ангелины, полученные в аналогичных работах (Fornasier et al., 2008; Bus, Binzel, 2002a). Авторы первой из этих публикаций говорят о высокой неоднородности вещества Ангелины, но ничем это не аргументируют. В нашей работе значительная переменность спектральных и, соответственно, минералогических свойств (от высокотемпературных до низкотемпературных минералов) Ангелины иллюстрируется спектрами 1 и 2 с противоположным по знаку градиентом континуума на длинах волн короче 0.75 мкм. Типичную для гидросиликатов слегка вогнутую форму имеет и спектр отражения 5 в диапазоне 0.55-0.75 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$). Кроме того, на спектрах 1, 2 и 5 присутствуют слабые полосы поглощения у 0.43-0.45 мкм (Fe^{3+}) (рис. 22 а, б). Такие результаты согласуются с обнаружением гидросиликатов на Ангелине по данным в области 3 мкм (Rivkin et al., 1995). Хотя Ангелина считается астероидом высокотемпературного типа (напр., Gaffey, Kelley, 2004), ее радарное альbedo в 2,5 раза ниже, чем у 69 Гесперии – астероида с преобладающим металлическим составом вещества (Shepard et al., 2011).

67 Азия. Близкие по времени регистрации спектры отражения Азии ($T_{вр} = 15.^h89$; $p_v = 0.255$; $D = 58.1$ км; $Sr = S, S, S$) (рис. 23) согласуются с ее установленным спектральным типом и преимущественно высокотемпературной минералогией. Для сравнения на вставке «А» приведен спектр отражения Азии из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), который в основном согласуется с нашими спектрами. Сильная полоса поглощения у 0.90 мкм указывает на высокое общее содержание оливина и пироксена в поверхностном веществе астероида. Тем не менее, слабые полосы поглощения у 0.44-0.49 мкм (Fe^{3+}) (спектр 2) и у 0.48-0.51 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$) (спектр 1), удлиненная форма коротковолнового крыла полосы поглощения у 0.90 мкм и смещенный к 0.65 мкм максимум в этих спектрах могут быть признаками наличия в поверхностном веществе некоторого количества гидросиликатов.

69 Гесперия. Полученные близкие по времени спектры отражения ($T_{вр} = 5.^h655$; $p_v = 0.140$; $D = 138.1$ км; $Sr = M, X, Xk$) Гесперии (рис. 24) в основном согласуются с ее спектральной классификацией и предполагаемым высокотемпературным металлическим и минеральным составом, что подтверждается достаточно коротким периодом вращения астероида. Высокое значение радиолокационного альbedo Гесперии однозначно указывает на значительную

металлическую компоненту в составе ее вещества (Shepard et al., 2011). Слабая полоса поглощения у 0.50 мкм (кривая 3), вероятно, может быть признаком содержания некоторого количества оливина, а слабая полоса у 0.61-0.63 мкм (кривая 1) – наличия окисленных металлических соединений (Hiroi et al., 1996). В то же время отсутствие следов пироксен-оливиновой полосы поглощения у 0.9 мкм (спектр 3) заставляет предположить о наличии в поверхностном веществе астероида какого-то затемняющего компонента, возможно, магнетита (Fe_3O_4). Об этом свидетельствует и сравнительно низкое значение геометрического альбедо астероида. Кроме того, у Гесперии наблюдаются значительные вариации наклона спектров отражения в коротковолновой области. Возможность этого подтверждается спектральными данными других авторов: для сравнения на вставках «А» и «В» приведены спектры отражения Гесперии из близких по содержанию работ (Bus, Binzel, 2002a и Fornasier et al., 2010), соответственно. Это может быть и признаком различий в степени зрелости поверхностного вещества и, возможно, связанного с этим, как в случае с лунной поверхностью (Charette et al., 1974), переменного содержания наночастиц металлического железа, влияющего на цветовые характеристики вещества астероида.

80 Сафо. Близкие по ФВ спектры отражения Сафо ($T_{\text{вр}} = 14.^{\text{h}}030$; $p_v = 0.185$; $D = 78.4$ км; $S_p = S, S$) (рис. 25) в основном соответствуют ее установленному спектральному типу (Tholen, 1989; Bus, Binzel, 2002b) (имеется значительная оливин-пироксеновая полоса поглощения у 1 мкм, что подтверждается спектром отражения астероида, полученным в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) и представленным на вставке «А», рис. 25), хотя и обладают некоторой спецификой. Коротковолновое крыло полосы поглощения у 1 мкм начинает проявлять себя только на длинах волн, превышающих 0.75-0.80 мкм (см. рис. 25). А на более коротких волнах спектры отражения имеют вогнутую форму (что особенно заметно на кривых 1 и 2) по причине наличия слабой и широкой полосы поглощения с центром у 0.60 мкм. Это можно интерпретировать как признак содержания в поверхностном веществе астероида включающего гидросиликаты углисто-хондритового вещества типа CI-CM (в виде примеси или отдельных образований). Как уже отмечалось, такая полоса поглощения может быть результатом интервалентного переноса заряда $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ в соединениях. Это согласуется с наличием на всех спектрах отражения Сафо слабой полосы поглощения у 0.44 мкм (Fe^{3+}). На присутствие в веществе примеси гидратированного вещества с пониженной плотностью, вероятно, указывает удлиненный период вращения астероида и его недостаточно высокое геометрическое альбедо по сравнению с типичными S-астероидами.

83 Беатриса. Спектральный тип Беатрисы ($T_{\text{вр}} = 10.^{\text{h}}16$; $p_v = 0.092$; $D = 81.4$ км; $S_p = X, X$) характеризуется спектром отражения с небольшим положительным наклоном, не имеющим значительных полос поглощения, но с признаками поглощения в УФ-диапазоне и на длинах волн более 0.85 мкм (Tholen, 1989; Bus, Binzel, 2002b), что подтверждается спектром Беатрисы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) (вставка "А", рис. 26). Несколько удлиненный период

вращения и достаточно низкое альbedo астероида являются признаками пониженной плотности и/или преимущественно низкотемпературного состава вещества. Как видно из рисунка 26 (кривые 1-3), у спектров отражения Беатрисы при близких ФВ происходят быстрые (но последовательные) изменения наклона континуума во всем диапазоне. Это может быть связано со значительной переменностью средней степени окисления вещества наблюдаемой полусферы астероида, что влияет на параметры полосы поглощения с центром у 0.2 мкм, возникающей в силикатном веществе в результате переноса заряда кислород-металл (Loeffler et al., 1974; Burns, 1993). Другим вариантом объяснения таких изменений спектральных характеристик Беатрисы может быть наличие протяженных альбедных неоднородностей на поверхности, что, вероятно, согласуется со средними по величине вариациями кривой блеска (Батраков и др., 2010). Так как изменение относительной фазы вращения астероида при этом составляло всего 0.016-0.032 (табл. 1), то полученный результат нуждается в уточнении при повторных наблюдениях.

Присутствие разновалентных ионов железа в веществе Беатрисы подтверждается слегка вогнутой формой спектра 1, определяемой наличием широкой полосы поглощения в диапазоне 0.45-0.75 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$), а также более узкими и слабыми полосами поглощения на спектрах 1 и 2 в том же диапазоне.

92 Ундина. Хотя Ундина ($T_{вр} = 15.194$; $p_v = 0.251$; $D = 126.4$ км; $Sp = X, Xc, Xk$) и отнесена к тому же спектральному классу, что и Беатриса (X) (Tholen, 1989), форма ее спектров отражения, полученных при близких ФВ, совершенно другая (рис. 27). Несмотря на то, что Ундина имеет более длинный период вращения (признак наличия внутренних пустот или образований с пониженной плотностью?), ее геометрическое альbedo значительно выше, чем у Беатрисы. Особенности спектров отражения Ундины описываются в ее классификации Бас («Xc» – красноватый спектр, практически лишенный полос поглощения, форма которого слегка искривлена в средней и длинноволновой части) (Bus, Binzel, 2002b) и в классификации Бас-ДеМео «Xk» (где уточняется, что у астероида наблюдается слабая полоса поглощения между 0.85 и 1 мкм) (DeMeo et al., 2009). Выпуклая форма полученных нами спектров отражения Ундины напоминает форму астероидов S-типа (наличие оливин-пироксеновой полосы поглощения у 0.90 мкм со значительно удлиненным и деформированным коротковолновым крылом), но отличается от них отсутствием общего положительного наклона. Такая особенность может быть интерпретирована как следствие гидратации высокотемпературных минералов, которая произошла на астероиде, например, при захоронении и частичном плавлении водяного льда в результате столкновения с каменно-ледяным телом. Это, вероятно, подтверждается слабой полосой поглощения у 0.44 мкм (Fe^{3+}) и более сильной полосой поглощения у 0.50 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$?) на всех полученных спектрах отражения. Спектральные исследования Ундины в области 3 мкм подтверждают наличие на ней гидросиликатов (Rivkin et al., 2000). Для сравнения

на вставках «А» и «В» (рис. 27) приведены спектры отражения Ундины других авторов (Bus, Binzel, 2002a; Fornasier et al., 2011). Первый из этих спектров (Bus, Binzel, 2002a) близок к нашим спектрами Ундины, а второй отличается: он имеет значительный положительный наклон и вышеупомянутую заметную полосу поглощения между 0.85 и 1.0 мкм, связанную, вероятно, с переносом заряда $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ в окисленных и/или гидратированных соединениях. Таким образом, спектры отражения Ундины, полученные в разных работах, характеризуют ее как астероид с переменным составом поверхностного вещества.

115 Фира. Полученные спектры отражения Фиры ($T_{вр} = 7.{}^h241$; $p_v = 0.275$; $D = 79.8$ км; $Sp = S, S, S$) (рис. 28а, б) и ее высокое геометрическое альbedo в основном согласуются с ее установленным спектральным типом и преобладающей высокотемпературной минералогией. Однако на некоторых ее спектрах имеются признаки значительных изменений содержания оливин-пироксеновой компоненты (вариации глубины полосы поглощения у 1 мкм) и степени окисления и/или гидратации поверхностного вещества. Так, в диапазоне 0.53-0.80 мкм у последовательных и близких по ФВ спектров 1-3 происходит изменение общей формы от выпуклой до слегка вогнутой (кривая 3, рис. 28а), вероятно, как результат появления здесь широкой полосы поглощения ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+?}$). Слабые полосы поглощения на спектрах отражения Фиры 1-3 у 0.44 и 0.60 мкм, а также искаженная форма коротковолнового крыла оливин-пироксеновой полосы поглощения у 1 мкм в интервале 0.75-0.90 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ или электронные переходы в обменно-связанных парах $Fe^{3+}-Fe^{3+?}$) на спектрах 4 и 5 (рис. 28б), полученных при других ФВ, можно объяснить примесью в веществе гидросиликатов. Упомянутые наиболее значительные полосы поглощения имеются и на спектрах отражения Фиры из других источников: на вставке «А» рисунка 28а приведен спектр отражения Фиры из обзора S^3OS^2 (Lazzaro et al., 2004), а на вставке «А» рисунка 28б – ее спектр отражения из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a).

129 Антигона. Такое же, как у Фиры, высокое значение геометрического альbedo и еще более короткий период осевого вращения согласуются с установленными спектральными классами Антигоны ($T_{вр} = 4.{}^h9572$; $p_v = 0.275$; $D = 79.8$ км; $Sp = M, X$), как тела с преимущественно высокотемпературным составом вещества (напр., Gaffey et al., 1989; Gaffey et al., 2002). В работе (Bus, Binzel, 2002b) указывается только то, что этот астероид имеет лишенный полос поглощения спектр отражения, на котором возможно поглощение в УФ-диапазоне и на длинах волн более 0.85 мкм. Но полученные нами спектры отражения Антигоны в широком диапазоне ФВ демонстрируют значительное разнообразие форм – от выпуклых, как в работе Форназиер и других (Fornasier et al., 2010) (вставка «А», рис. 29а), до слегка вогнутых, как в обзоре SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) (вставка «А», рис. 29б). Очевидно, что с такими вариациями связаны значительные изменения состава поверхностного вещества Антигоны: от высокотемпературного, включающего

металлические соединения и смесь оливина с пироксеном, до низкотемпературного (гидратированного). Признаками наличия оливина могут быть слабая полоса поглощения у 0.50 мкм (Fe^{2+} или $\text{Fe}^{3+?}$) на спектре 2 (рис. 29а) и коротковолновое крыло полосы поглощения у 1,0 мкм (рис. 29а, б). А присутствие гидратированного вещества на поверхности Антигоны подтверждается слабыми полосами поглощения у 0.43-0.45 мкм (Fe^{3+}) на спектрах 2 и 3 и более сильной полосой у 0.65 мкм ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+?}$) на спектре 4 и его общим отрицательным градиентом. Содержание гидросиликатов в поверхностном веществе Антигоны подтверждается и полосой поглощения в ее спектре отражения у 3 мкм (Rivkin et al., 2000).

135 Герта. Из полученных нами спектров отражения Герты ($T_{\text{вр}} = 8.403$; $p_v = 0.144$; $D = 79.2$ км; $S_p = M$, X_k) при разных ФВ (рис. 30а, б, в) только спектр 6 (рис. 30в) соответствует ее более ранней классификации как астероид М-типа (Tholen, 1989). На высокотемпературный состав вещества Герты указывают и выпуклые спектры отражения Герты из других источников, приведенные на вставках «А» (Bus, Binzel, 2002a) и «В» (Fornasier et al., 2011) на рисунке 30в, имеющие разные градиенты. В последней классификации "Xk" уточняется, что спектр астероида имеет красноватый спектр отражения на длинах волн короче 0.75 мкм и плоский спектр в длинноволновой области (Bus, Binzel, 2002b). Различия на наших спектрах отражения Герты, полученных при ФВ 0.000-0.042, сравнительно невелики (рис. 30а), но их общая вогнутая форма характерна для гидратированного или углисто-хондритового состава вещества, как на астероидах С-F-типов (напр., Gaffey et al., 1989; Gaffey et al., 2002). Видно, что при указанных ФВ в диапазоне 0.70-0.91 мкм (рис. 30а, кривые 3 и 4) отражательная способность астероида постепенно снижается на ~20-40% в связи, вероятно, с появлением оливин-пироксеновой полосы поглощения у 1.0 мкм. Такое изменение могло быть вызвано ростом среднего содержания пироксена и оливина в составе вещества наблюдаемой стороны астероида. Похожий вид имел спектр отражения Герты при ее диаметрально противоположной ориентации (при ФВ = 0.45; кривая 5, рис. 30б). В спектрах отражения Герты 3-6 достаточно четко видна слабая полоса поглощения у 0.45 мкм, которую можно связать с наличием в веществе астероида Fe^{3+} . Слабая полоса поглощения у 0.50 мкм (запрещенные по спину электронные переходы в Fe^{2+} или Fe^{3+} в оливинах и пироксенах?) (Платонов, 1976; Бахтин, 1985) также заметна на всех полученных спектрах (рис. 30 а-в). Таким образом, спектры Герты, полученные при разных ФВ, соответствуют разным спектральным типам (от С-F до М-S). Как и в случае с 21 Лютетией, можно утверждать о значительной неоднородности состава поверхностного вещества Герты, имеющей похожие спектральные типы. Но геометрическое альbedo Герты почти вдвое ниже, чем у Лютетии. На основании перечисленных спектральных особенностей можно сделать вывод о преобладании низкотемпературных соединений в составе вещества Герты. Это подтверждается и низкой величиной радарного альbedo астероида, характерной для тела неметаллического состава (Shepard et al., 2010). И, наконец,

наблюдения Герты в области 3 мкм привели к обнаружению в ее спектре отражения полосы поглощения гидросиликатов (Rivkin et al., 2000).

141 Лумен. С нашим спектром отражения Лумен ($T_{вр} = 19.^h86$; $p_v = 0.054$; $D = 131.0$ км; $Sp = CPF$) (рис. 31) хорошо согласуются спектры, полученные другими авторами, представленные на вставках «А» (Bus, Binzel, 2002a) и «В» (Lazzaro et al., 2004). В последней классификации Лумен (Ch) (Bus, Binzel, 2002b) уточняется, что в отличие от плоского спектра отражения обычного астероида С-типа, в спектре отражения астероида есть широкая и мелкая полоса поглощения с центром у 0.7 мкм. На низкотемпературную минералогию Лумен указывает общая вогнутая форма полученного спектра отражения (рис. 31), определяемая слабой, но широкой полосой поглощения с центром у 0.68 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$?). Присутствие в поверхностном веществе астероида более окисленной формы железа (Fe^{3+}) на спектре отражения слабой полосой поглощения у 0.45 мкм. С такой интерпретацией согласуются большой период вращения астероида и крайне низкое значение его геометрического альбедо.

196 Филомела. Нами были получены три спектра Филомелы ($T_{вр} = 8.^h334$; $p_v = 0.230$; $D = 136.4$ км; $Sp = S, S$) 28-29 октября 2008 г., 28-29 ноября 2008 г. и 1-2 декабря 2008 г. (рис. 32 а, б, в), примерно равномерно распределенных в пределах периода ее вращения (табл. 1). Спектры отражения Филомелы по форме соответствуют S-типу (Tholen, Varucci, 1989) и различаются на ~6-9% только у границ спектрального диапазона, что находится в пределах ошибок. Это говорит о высокотемпературной минералогии и достаточно однородном составе поверхностного вещества Филомелы, как уже было показано в предшествующей работе (Бусарев, 2011). С нашими спектрами отражения Филомелы в основном согласуется и ее спектр, полученный в обзоре SMASSII (Bus, Binzel, 2002a) (вставка «А» рисунка 32б), имеющий более резкий максимум у 0.7 мкм. В то же время слабые полосы поглощения у 0.44-0.45 мкм (Fe^{3+}), 0.60 и 0.65 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$?) на втором (рис. 32б) и третьем (рис. 32в) спектрах все же указывают о наличии на поверхности Филомелы образований из окисленного или гидратированного вещества или о его примеси в веществе астероида. Обращает на себя также внимание деформированная форма коротковолнового крыла оливин-пироксеновой полосы поглощения у 0.90 мкм (кривые 1 и 2, рис. 32 а, б), вызываемая, вероятно, переносом заряда $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ (напр., Платонов, 1976; Бахтин, 1985).

198 Ампелла. Полученные с небольшой разницей ФВ спектры отражения Ампеллы ($T_{вр} = 10.^h383$; $p_v = 0.252$; $D = 57.2$ км; $Sp = S, S$) соответствуют ее установленному спектральному типу (Tholen, 1989; Bus, Binzel, 2002b) и преимущественно высокотемпературной минералогии (рис. 33). Со спектром 2 хорошо согласуется спектр Ампеллы из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a) (вставка «А»). Тем не менее, на спектрах астероида имеются спектральные детали, указывающие на примесь в поверхностном веществе гидросиликатов и/или окисленных соединений. Такими особенностями являются признаки полосы поглощения у 0.65 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$?) и слабая полоса

поглощения у 0.44 мкм (Fe^{3+}) на спектрах 2 и 3. Кроме того, на всех трех спектрах имеется слабая полоса поглощения у 0.53 мкм ($\text{Fe}^{2+?}$), принадлежащая, по-видимому, пироксену. Меняющаяся интенсивность оливин-пироксеновой полосы поглощения (по ее крылу у 1 мкм) может указывать на изменения содержания оливина и пироксена в поверхностном веществе астероида.

230 Атамантис. Полученные спектры отражения Атамантис при небольшой разнице ФВ ($T_{\text{вр}} = 24.^{\text{h}}006$; $p_v = 0.171$; $D = 109.0$ км; $Sp = S, Sl$) (рис. 34, спектр 2 нормирован на длине волны 0.65 мкм) соответствуют ее принятому спектральному типу «Sl» (Bus, Binzel, 2002b, где уточняется, что в отличие от обычного астероида S-типа на спектре отражения Атамантис имеется полоса поглощения с центром у 0.75 мкм, что делает его похожим на спектр астероида L-типа с крутым наклоном на длинах волн короче 0.75 мкм и плоским континуумом на более длинных волнах). На вставке «А» (рис. 34) приведен спектр отражения Атамантис из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), который в основном согласуется с нашими данными. Слабые полосы поглощения у 0.51 - 0.52 мкм (Fe^{2+}), по-видимому, вызваны наличием пироксена (напр., Хоменко, Платонов, 1987). Но форма коротковолнового крыла оливин-пироксеновой полосы поглощения у 0.90 мкм на наших спектрах Атамантис явно искажена налагающимися на него одной или двумя более слабыми полосами поглощения у 0.80 мкм ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ или электронные переходы в обменно-связанных парах Fe^{3+} - $\text{Fe}^{3+?}$). Это подтверждается слабыми полосами поглощения у 0.44 и 0.61 мкм (спектр 1). Перечисленные спектральные особенности Атамантис, по-видимому, указывают на содержание в поверхностном веществе гидросиликатов и/или окислов, с чем согласуется удлиненный период вращения астероида (и, вероятно, его пониженная плотность), а также невысокое значение альбедо.

250 Беттина. Три полученные при близких фазах вращения спектра отражения Беттины ($T_{\text{вр}} = 5.^{\text{h}}0545$; $p_v = 0.258$; $D = 79.8$ км; $Sp = M, Xk, Xk$) соответствуют ее установленному типу “M” (Tholen, 1989) (рис. 35). С ними хорошо согласуется спектр отражения Беттины из обзора SMASSII (Bus, Binzel, 2002a) (вставка «А»), но не вполне согласуется спектр из работы (Fornasier et al., 2010) (вставка «В», рис. 35), имеющий значительно более высокий градиент, соответствующий последней классификации “Xk” (Bus, Binzel, 2002b). Преимущественно высокотемпературный состав астероида подтверждается его коротким периодом вращения и достаточно высоким геометрическим альбедо. Слабая полоса поглощения у 0.52-0.53 мкм (Fe^{2+}) на спектре 1, вероятно, связана с наличием в веществе пироксена. Тем не менее, как и у других астероидов высокотемпературных типов, у Беттины имеются спектральные детали, указывающие на присутствие в поверхностном веществе гидросиликатов и/или окисленных соединений. Это слабые полосы поглощения у 0.62-0.65 мкм и 0.73-0.78 мкм (спектр 1), у 0.45, 0.57-0.63 и 0.67-0.75 мкм (спектр 2), 0.67-0.71 мкм (спектр 3).

264 Либусса. Единственный полученный нами спектр отражения Либуссы ($T_{вр} = 9.^h228$; $p_v = 0.297$; $D = 50.5$ км; $S_p = S, S, S$) согласуется с ее установленным типом и преимущественно высокотемпературной минералогией (рис. 36). Он практически идентичен спектру отражения оливина с сильной полосой поглощения у 1 мкм (напр., Платонов, 1976), что позволяет утверждать о преобладании оливина в поверхностном веществе астероида. С приведенным спектром отражения Либуссы в основном согласуется ее спектр из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), имеющий весьма резкий максимум у 0.75 мкм (вставка «А», рис. 36). Тем не менее, на спектре Либуссы (рис. 36) нами зарегистрирована слабая полоса поглощения у 0.45 мкм (Fe^{3+}), которая может быть индикатором примеси окисленных (и/или гидратированных) соединений в веществе астероида или наличия на его поверхности отдельных образований, включающих эти соединения.

349 Дембовска. Спектры отражения Дембовской ($T_{вр} = 4.^h701$; $p_v = 0.384$; $D = 139.8$ км; $S_p = R, R, R$), полученные при похожих ФВ, соответствуют ее установленному высокотемпературному R-типу, близкому к «S» (рис. 37). Значительное геометрическое альbedo астероида подтверждает преобладающий высокотемпературный состав поверхностного вещества, а короткий период вращения – монолитную и плотную структуру ее недр. Однако на всех наших спектрах отражения Дембовской форма коротковолнового крыла оливин-пироксеновой полосы поглощения у 1 мкм искажена накладывающейся на него более слабой полосой поглощения у 0,78-0,86 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ или электронные переходы в обменно-связанных парах $Fe^{3+}-Fe^{3+?}$), которая может быть признаком содержания в веществе окисленных (и/или гидратированных) соединений. Такая интерпретация подтверждается наличием на всех спектрах слабых полос поглощения в интервале 0.43-0.50 мкм, у 0.62, 0.67 и 0.75 мкм. Хотя наши спектры отражения Дембовской в основном согласуются с ее ранее полученными спектрами (Bus, Binzel, 2002a, вставка «А», и McCord, Chapman, 1975, вставка «В»), но имеются и заметные отличия. Как видно из рисунка 37, первый из этих спектров имеет резкий максимум вблизи 0.7 мкм (вставка «А»), а второй – двойной максимум на тех же длинах волн (вставка «В»), возникший, вероятно, в результате наложения на рассматриваемый максимум полосы поглощения в интервале 0.6-0.8 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+?}$). Различия на спектрах отражения Дембовской из разных источников, вероятно, служат указаниями на заметную неоднородность ее поверхностного вещества. Но поскольку наши данные получены при малой разнице фаз вращения, такое предположение нуждается в проверке.

532 Геркулина. Хотя два спектра отражения Геркулины ($T_{вр} = 9.^h405$; $p_v = 0.169$; $D = 222.4$ км; $S_p = S, S, S$), полученные при близких ФВ, соответствуют ее установленному высокотемпературному типу (рис. 38 а, б), на них имеются заметные различия. Они показывают, что с вращением астероида в его поверхностном веществе быстро изменяется содержание оливина и пироксена (вариации глубины и положения центра полосы поглощения у 1 мкм) и средней

степени окисления вещества (меняется интенсивность УФ-поглощения, вызываемого переносом заряда кислород-металл). С приведенными спектрами Геркулины в основном согласуется ее спектр отражения из обзора SMASSII (Bus, Binzel, 2002a) (вставка «А», рис. 38а) с более резким максимумом у 0.75 мкм. Слабые полосы поглощения у 0.51-0.52 мкм (Fe^{2+}) на обоих спектрах, вероятно, связаны с присутствием пироксена (напр., Хоменко, Платонов, 1987). Имеются и слабые полосы поглощения, которые указывают на наличие в веществе астероида гидратированных и/или окисленных соединений, – у 0.43 и 0.61 мкм (спектр 1, рис. 38а) и 0.47 мкм (спектр 2, рис. 38б). Такая интерпретация подтверждается невысоким значением альбедо Геркулины.

584 Семирамида. Полученные при близких ФВ два спектра отражения Семирамиды ($T_{вр}= 5.^h068$; $p_v = 0.199$; $D = 54.0$ км; $Sr = S, SI$) имеют похожую форму (рис. 39) и соответствуют ее установленному типу и преимущественно высокотемпературной минералогии “S” (Tholen, 1989) или “SI” (Bus, Binzel, 2002b, где уточняется, что спектр астероида является промежуточным между “S” и “L” типами). На вставке «А» приведен спектр отражения Семирамиды из обзора SMASS II (Bus, Binzel, 2002a), который согласуется с нашими спектрами астероида наличием сильной оливин-пироксеновой полосой поглощения у 0.90 мкм. Слабые полосы поглощения у 0.49-0.51 и 0.54-0.56 мкм (Fe^{2+}) подтверждают присутствие в веществе астероида оливина и пироксена. В то же время, другие спектральные особенности свидетельствуют о примеси в поверхностном веществе астероида окисленных и/или гидратированных соединений. Такими признаками на обоих спектрах являются форма коротковолнового крыла оливин-пироксеновой полосы поглощения у 0.90 мкм, искаженная наложением слабых (но широких) полос поглощения у 0.77 и 0.87 мкм ($Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+?}$), и слабая полоса поглощения у 0.45 мкм (Fe^{3+}). С последним выводом согласуется невысокое значение геометрического альбедо Семирамиды.

785 Зветана. Полученные спектры отражения Зветаны ($T_{вр}= 8.^h8882$; $p_v = 0.125$; $D = 48.5$ км; $Sr = M, Cb, Cb$) (рис. 40а, б) не соответствуют ее установленному спектральному типу “M”, если исходить из его некоторой эталонной формы (Tholen, Varucci, 1989). Для M-типа не характерно и сравнительно низкое значение геометрического альбедо Зветаны (Bus, Binzel, 2002b; DeMeo et al., 2009) Зветана отнесена к примитивному классу “Cb” (в отличие от обычного C-астероида спектр отражения имеет плоский континуум, приобретающий положительный наклон на длинах волн более 1.1 мкм). Но спектры отражения Зветаны 1-3 (рис. 40а) имеют отрицательный градиент во всем видимом и ближнем ИК диапазонах. А спектры 4-6 (рис. 40б), полученные почти при ее диаметрально противоположной ориентации (см. табл. 1), похожи на спектры примитивных астероидов G-типа. Общий отрицательный градиент спектров Зветаны можно объяснить наличием сильной полосы поглощения с центром в ближнем ИК диапазоне, вызываемой, вероятно, переносом заряда $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ в гидратированных соединениях. На рисунках 40 (а и б) видно, что на эту полосу накладывается оливин-пироксеновая полоса поглощения у 0.90 мкм, коротковолновое

крыло которой нами зарегистрировано. Присутствие окисленных и гидратированных соединений подтверждается наличием на спектрах 4-6 более слабой (но широкой) полосы поглощения с центром у 0.62 мкм, а также слабой полосой поглощения у 0.44 мкм (Fe^{3+}). Высокая переменность состава вещества Зветаны подтверждается ее спектрами из других источников, представленных на вставке «А» рисунка 40а (Bus, Binzel, 2002a) и на вставке «А» рисунка 40б (Fornasier et al., 2010). Спектральные наблюдения Зветаны в области 3 мкм не привели к обнаружению гидросиликатов, хотя такой вывод сделан всего по двум спектрам отражения, различия на которых у 3 мкм достигали ~4% (Rivkin et al., 2000).

3. Дискуссия и выводы

Сравнение полученных нами спектральных характеристик астероидов с результатами других авторов показывает, что основной причиной обнаруженных различий, вероятно, являются неоднородности химико-минерального состава поверхностного вещества. В то же время нельзя исключить, что некоторая часть различий в спектральных свойствах астероидов при их повторных наблюдениях могут быть вызваны несовпадениями аспектных или фазовых световых углов, ведущих к отклонениям в величинах спектрального коэффициента яркости наблюдаемых объектов. Такие различия мы старались свести к минимуму при планировании повторных наблюдений астероидов путем ограничения фазовых углов. Однако при наземных наблюдениях астероидов иногда возникают скрытые погрешности (например, при быстрых изменениях прозрачности земной атмосферы в случае ее неустойчивого состояния, при появлении тонкой облачности в виде циррусов, дымки и т. п.). Отсюда вытекает необходимость тщательного отбора и проверки полученных результатов, которые могут быть осуществлены только путем сравнения характеристик одних и тех же объектов, полученных независимым образом. К сожалению, повторные измерения спектров отражения большинства астероидов возможны, в лучшем случае, только через два года. Тем не менее, на основе проведенных измерений и сравнения результатов разных авторов мы можем утверждать, что признаки значительной спектральной и, следовательно, химико-минеральной неоднородности поверхностного вещества зарегистрированы у 10 Гигии, 13 Эгерии, 14 Ирены, 21 Лютении, 45 Евгении, 51 Немаузы, 55 Пандоры, 64 Ангелины, 69 Гесперии, 80 Сафо, 83 Беатрисы, 92 Ундины, 129 Антигоны, 135 Герты и 785 Зветаны.

Еще одним важным результатом является обнаружение спектральных признаков гидратированных силикатов и/или Fe^{3+} -содержащих окислов (гидроокислов) железа на абсолютном большинстве изученных нами астероидов высокотемпературных типов. Мы допускаем возможность наличия в веществе астероидов окислов (и гидроокислов) и других переходных металлов, таких как Ti, Cr, Ni, Mn и др. Но на фоне значительно более интенсивных спектральных характеристик разновалентных форм железа Fe^{2+} и Fe^{3+} различить их пока не

представляется возможным. Более ранние спектрофотометрические исследования показали, что поверхностное вещество значительного числа астероидов высокотемпературных (S-, M-, E-, V-) типов включает Fe^{3+} -содержащие окисленные соединения и/или гидросиликаты (Rivkin et al, 2000; Бусарев, 2002). Если исходить из общепринятых представлениях об астероидах высокотемпературных (M-, S-, V-, E-, A-, R-) типов как о телах с преобладающей высокотемпературной минералогией (напр., Bell et al., 1989; Gaffey et al., 1989), испытавших нагревание до температур $\sim 1000-1500^{\circ}C$ при формировании, то это представляется странным. Как известно из земной минералогии, большинство гидратированных силикатов, Fe^{3+} -содержащих окислов и гидроокислов полностью разрушаются при температурах $\sim 400-500^{\circ}C$ (напр., Бетехтин, 1951; Коржинский, 1957). Возможно, что некоторое количество Fe^{3+} могло остаться в веществе астероида в случае его недостаточно сильного или неравномерного нагревания в период первичной тепловой эволюции, энергетическим источником которой был распад короткоживущих изотопов (^{26}Al и других). Как показало моделирование (Grimm, McSween, 1993; McSween et al., 2002), вещество части родительских тел астероидов, особенно на периферии Главного пояса, могло включать водяной лед. Но в жестких космических условиях такие соединения не могут существовать на поверхности астероидов продолжительное время. При длительном и постоянном воздействии коротковолнового излучения и интенсивных корпускулярных и микрометеоритных потоков эти соединения должны переходить в более восстановленные формы. Кроме того, космическое выветривание (или созревание) твердого вещества, вызванное теми же факторами, приводит к деградации кристаллической структуры и ее переходу в аморфную, не имеющую четких спектральных характеристик. Неоднородность вещества астероидов может возникать, прежде всего, при ударных процессах (Бусарев, 2002, 2011). Результаты наземных спектральных наблюдений астероидов высокотемпературных типов дают основания предпочесть возможность доставки на их поверхность окисленных и/или гидратированных соединений при падениях на них меньших по размеру примитивных тел и пыли. С другой стороны, на астероидах низкотемпературных типов (C, G, F и др.) преобладающим физико-химическим процессом является дегидратация и восстановление вещества вследствие ударного нагревания. При этом исчезают характерные спектральные признаки окисленного и гидратированного вещества (напр., Hiroi et al., 1993).

Окисленные или гидратированные соединения на поверхностях астероидов высокотемпературных типов должны пополняться в течение всего времени существования этих тел. Такое предположение полностью подтвердилось в 2011 г. результатами детальных космических исследований 4 Весты с помощью космического аппарата Dawn (NASA). На ее поверхности, имеющей преимущественно базальтовый состав, были обнаружены многочисленные пятна гидросиликатов и более темные пятна углисто-хондритового состава (Reddy et al., 2012; De

Sanctis et al., 2012), которые могут быть ударными образованиями разного возраста. По нашему мнению, процесс доставки примитивных материалов на астероиды и все внутренние планетные тела был наиболее интенсивным в ранней Солнечной системе и продолжается в настоящее время при падениях более мелких тел и пыли, имеющих преимущественно углисто-хондритовый состав. Убедительными подтверждениями этого является глобальная распространенность гидросиликатов (или их отдельных образований ударного происхождения) не только на поверхности Весты, но и на Луне (Zolensky et al., 1996; Pieters et al., 2009; de Sanctis et al., 2012; Reddy et al., 2012;).

По причине удаленности и сравнительно малых размеров все астероиды при наземных наблюдениях выглядят как точечные объекты. В этом случае все имеющиеся неоднородности на поверхности исследуемого астероида усредняются и становятся практически недоступными для регистрации. Но нами было показано (Бусарев и др., 2007), что частотный анализ изменений интегральной интенсивности избранной спектральной детали (полосы поглощения) на последовательных спектрах отражения астероида позволяет выделить более высокие частоты по отношению к основной частоте, задаваемой периодом вращения, и осуществить переход от временных частот к пространственным (Бусарев и др., 2007). Это позволяет преодолеть предел разрешения, задаваемый используемой оптической системой, и получить новую информацию о структуре поверхности астероида. Такая идея лежит в основе разработанного нами спектрально-частотного метода (Бусарев и др., 2007), который был успешно применен при изучении структуры гидратированных образований на поверхностях 21 Лютении и 4 Весты (Прокофьева и др., 2005; Прокофьева-Михайловская и др., 2008).

Как показывают лабораторные спектральные и фотометрические исследования образцов-аналогов и, в частности углистых хондритов (напр., Cloutis et al., 2011a, 2011b, 2012a, 2012b), у низкоальбедных астероидов при малых фазовых углах ($\leq 10^\circ$) форма спектра отражения контролируется не только составом вещества, степенью его переработки под действием космогенных факторов, крупностью, структурой и упаковкой частиц вещества, но и пока малоизученными эффектами, типа ЭФС. Вероятно, впервые на астероидах 10 Гигии, 21 Лютении и, возможно, 4 Весте при фазовых углах $\leq 4^\circ$ нами зарегистрирован ЭФС, выражающийся в изменении знака (с положительного на отрицательный) градиента континуума спектра отражения низкоальбедного вещества в синей части спектра или во всем видимом диапазоне. Если на Гигии и Лютении ЭФС наблюдался достаточно отчетливо и, по-видимому, связан с углисто-хондритовым составом значительной части поверхности, то на Весте он менее выражен и может вызываться множеством пятен темного материала того же состава. Но поскольку указанный тип вещества не преобладает на поверхности Весты, то достоверность обнаруженного эффекта нуждается в подтверждении.

Недавнее изучение 354 Элеоноры (S-тип) на основе большого массива наблюдательных данных, полученных в видимой и ближней ИК- областях при разных фазах вращения этого тела (Gaffey et al., 2015), свидетельствует о высоком интересе среди специалистов к проблеме распределения вещества и неоднородностям его состава на астероидах. Очевидно, что данная проблема связана не только со сценариями происхождения отдельных астероидных тел, но и с эволюционными процессами в масштабе всей Солнечной системы.

Благодарности. Автор выражает благодарность анонимным Рецензентам за критическое рассмотрение и обсуждение представленных результатов, что способствовало значительному улучшению содержания статьи.

Литература:

- Батраков Ю. В. и др. (ред.) Эфемериды малых планет на 2010 год / С.-Петербург: Наука, 2009. С. 246-250.
- Бахтин А. И. Породообразующие силикаты: оптические спектры, кристаллохимия, закономерности окраски, типоморфизм / Казань: Издат. Казанского ун-та, 1985.
- Бетехтин А. Г. (1951) Курс минералогии / Москва: Гос. изд-во геолог. лит., 543 с.
- Бусарев В. В. Спектрофотометрия безатмосферных тел Солнечной системы // Астрон. вестн. 1999. Т. 33. С. 140-150. [Busarev V. V. (1999) Spectrophotometry of atmosphereless celestial bodies of the solar system // *Solar Sys. Res.*, v. 33, p. 120-129.]
- 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. Т. 36. №1. С. 39-47. [Busarev V. V. Hydrated silicates on asteroids of M-, S-, and E- types as possible traces of collisions with bodies of the Jupiter growth zone // *Solar Sys. Res.* 2002. V. 36. No. 1. P. 39-47.]
- Бусарев В.В. Спектральные исследования астероидов 21 Лютеция и 4 Веста как объектов космических миссий // Астрон. вестн. 2010. Т. 44. № 6. С. 539-551. [Busarev V.V. Spectral investigations of asteroids 21 Lutetia and 4 Vesta as objects of space missions // *Solar Sys. Res.* 2010. V. 44. P. 507-519]
- Бусарев В.В. О неоднородности вещества астероидов 10 Гигии, 135 Герты и 196 Филомелы по спектрам отражения // Астрон. вестн. 2011. Т. 45. № 1. С. 45-54. [Busarev V.V. Asteroids 10 Hygiea, 135 Hertha, and 196 Philomela: Heterogeneity of the material from the reflectance spectra // *Solar Sys. Res.* 2011a. V. 45. P. 43-52]
- Бусарев В. В., Прокофьева-Михайловская В. В., Бочков В. В. Спектральный и спектрально-частотный методы исследования безатмосферных тел Солнечной системы. Успехи физических наук. 2007. Т. 177. № 6. С. 663-675. [Busarev, V.V., Prokof'eva-Mikhailovskaya, V.V., Bochkov, V.V. Spectral and spectral-frequency methods of investigating atmosphereless bodies of the Solar system // *Physics – Uspekhi.* 2007. V. 50 (6). P. 637– 647].
- Коржинский Д. С. Физико-химические основы парагенезисов минералов / М.: Издат. АН СССР, 1957. 184 с.
- Платонов А. Н. Природа окраски минералов / Киев: Наукова думка, 1976.
- Петрова Е. В., Тишковец В. П. Рассеяние света морфологически сложными объектами и оппозиционные эффекты (обзор) // Астрон. вестн. 2011. Т. 45. № 4. С. 315-333.
- Прокофьева В. В., Бочков В. В., Бусарев В. В. Исследование структуры поверхности М-астероида 21 Лютеция спектральным и частотным методами // Астрон. вестн. 2005. Т. 39. № 5. С. 457-468. [Prokof'eva V. V., Bochkov V. V., Busarev V. V. The surface structure of the M-type asteroid 21 Lutetia: Spectral and frequency analysis // *Solar Sys. Res.* 2005. V. 39. No. 5. P. 410-420].
- Прокофьева-Михайловская В.В., Рублевский А.Н., Бочков В.В. Водные соединения на поверхности астероида 4 Веста // Известия КрАО. 2008. Т. 104. №1. С. 218-228.
- Хоменко В. М., Платонов А. Н. Породообразующие пироксены: оптические спектры, окраска и плеохроизм / Киев: Наукова думка, 1987.
- 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. V. 79. P. 4829-4836.
- Adams J. B. Interpretation of visible and near-infrared diffuse reflectance spectra of pyroxenes and other rock-forming minerals // *Infrared and Raman spectroscopy of lunar and terrestrial minerals* / Ed. Karr C., New York: Academic Press, 1975. P. 91-116.
- Adams J.B., McCord T.B. Remote sensing of lunar surface mineralogy: implications from visible and near-infrared reflectivity of Apollo 11 samples // *Proc. Apollo 11 Lunar Sci. Conf.* 1970. V. 3. P. 1937-1945.
- Bell J. F., Davis D. R., Hartmann W. K., Gaffey M. J. Asteroids: The big picture // *Asteroids II* / Eds Binzel R. P., Gehrels T. and Matthews M. S. Tucson: Univ. of Arizona Press, 1989. P. 921-945.
- Binzel R. P., Xu S. Chips off of asteroid 4 Vesta – Evidence for the parent body of basaltic achondrite meteorites // *Science.* 1993. V. 260. P. 186-191.

- Burns R. G. Mineralogical applications of crystal field theory / New York: Cambridge Univ. Press, 1993.
- Bus S. J., Binzel R. P. Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey. The Observations // *Icarus*. 2002a. V. 158. P. 106–145.
- Bus S. J., Binzel R. P. Phase II of the Small Main-Belt Asteroid Spectroscopic Survey. A Feature-Based Taxonomy // *Icarus*. 2002b. V. 158. P. 146–177.
- Busarev V. V. A hypothesis on the origin of C-type asteroids and carbonaceous chondrites // *Asteroids, Comets, Meteors 2012*, Niigata, Japan, 2012. Abstract #6017.
- Busarev V. V., Taran M. N. On the spectral similarity of carbonaceous chondrites and some hydrated and oxidized asteroids // In: Proceedings of “Asteroids, Comets, Meteors (ACM 2002)”, Technical Univ. of Berlin (ESA-SP-500), Berlin, 2002. P. 933-936.
- 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 // 40th Vernadsky Inst. – Brown Univ. Microsimp. on Comparative Planetology, Moscow, 2004a. Abstract No. 15.
- Busarev V. V., Bochkov V. V., Prokof’eva V. V., Taran M. N. Characterizing 21 Lutetia with its reflectance spectra. / In: The new ROSETTA targets (Eds L. Colangeli et al.), Kluwer Acad. Publishers, 2004b. P. 79-83.
- Busarev V. V., Volovetskij M. V., Taran M. N., Fel’dman V. I., Hiroi T., Krivokoneva G. K. Results of reflectance spectral, Mössbauer, X-ray and electron microprobe investigations of terrestrial serpentine samples // 48th Vernadsky-Brown Microsymposium on Comparative Planetology, Moscow, 2008. Abstract No. 6.
- Calvin W. M., King T. V. V. Spectral characteristics of iron-bearing phyllosilicates: Comparison to Orgueil (CII), Murchison and Murray (CM2) // *Met. Planet. Sci.* 1997. V. 32. P. 693-701.
- Castillo-Rogez J. C., McCord T. B. Ceres’ evolution and present state constrained by shape data // *Icarus*. 2010. V. 205. P. 443-459.
- Castillo-Rogez J. C. Ceres – Neither a porous nor salty ball // *Icarus*. 2011. V. 215. P. 599-602.
- Cayrel de Strobel G. Stars resembling the Sun // *The Astron. Astrophys. Rev.* 1996. V. 7. P. 243-288.
- Chapman C. R., McCord T. B., Johnson T. V. Asteroid spectral reflectivities // *Astron. J.* 1973. V. 78. P. 126-140.
- 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 // *Geophys. Res. J.* 1974. V. 79. P. 1605-1613.
- Clark B.E., Binzel R.P., Howell E.S., Cloutis E.A., Ockert-Bell M., Christensen P., Barucci M.A., DeMeo F., Laretta D.S., Connolly H., Soderberg A., Hergenrother C., Lim L., Emery J., Mueller M. Asteroid (101955) 1999 RQ36: spectroscopy from 0.4 to 2.4 μm and meteorite analogs. *Icarus* 2011. V. 216. P. 462–475.
- Cloutis E. A., Gaffey M. J., Jackowski T. L., Reed K. L. Calibrations of phase abundance, composition, and particle size distribution for olivine-orthopyroxene mixtures from reflectance spectra // *Geophys. Res. J.* 1986. V. 91. P. 11641-11653.
- Cloutis E. A., Hiroi T., Gaffey M. J., Alexander C. M. O. D., Mann P. Spectral reflectance properties of carbonaceous chondrites: 1. CI chondrites // *Icarus*. 2011a. V. 212. P. 180-209.
- Cloutis E. A., Hudon P., Hiroi T., Gaffey M. J., Mann P. Spectral reflectance properties of carbonaceous chondrites: 2. CM chondrites // *Icarus*. 2011b. V. 216. P. 309-346.
- Cloutis E. A., Hudon P., Hiroi T., Gaffey M. J. Spectral reflectance properties of carbonaceous chondrites: 3. CR chondrites // *Icarus*. 2012a. V. 217. P. 389-407.
- Cloutis E. A., Hudon P., Hiroi T., Gaffey M. J. Spectral reflectance properties of carbonaceous chondrites 4: Aqueously altered and thermally metamorphosed meteorites // *Icarus*. 2012b. V. 220. P. 586-617.
- Cochran A. L., Vilas F. The changing spectrum of Vesta: Rotationally resolved spectroscopy of pyroxene on the surface // *Icarus*. 1998. V. 134. P. 207-212.
- de Sanctis M. C., Combe J.-Ph., Ammannito E. and 18 coauthors. Detection of widespread hydrated materials on Vesta by the VIR imaging spectrometer on board the Dawn mission // *Aph. J. Lett.* 2012. V. 758. L36 (5pp).
- DeMeo F. E., Binzel R. P., Slivan S. M., Bus S. J. An extension of the Bus asteroid taxonomy into the near-infrared // *Icarus*. 2009. V. 202. P.160-180.
- Dotto E., Barucci M.A., Fulchignoni M., di Martino M., Rotundi A., Burchi R., di Paolantonio A. M-type asteroids: rotational properties of 16 objects // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1992. V. 95. P. 195-211.
- Drake M. J. Geochemical evolution of the eucrite parent body: Possible nature and evolution of Asteroid 4 Vesta? / *Asteroids* (Ed. T. Gehrels), Tucson: Univ. of Arizona Press, 1979. P. 765–782.
- Duke M. B., Silver L. T. Petrology of eucrites, howardites and mesosiderites // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1967. V. 31. P. 1637–1665.
- Dunham D. W., Herald D. Summary References // EAR-A-3-RDR-OCCULTATIONS-V3.0:ODIAMREFS_TAB. NASA Planetary Data System, 2005.
- Ferguson J., Fielding P. E. The origins of the colours of yellow, green and blue sapphires // *Chem. Phys. Lett.* 1971. V. 10. P. 262-265.
- Fornasier S., Migliorini A., Dotto E., Barucci M. A. Visible and near infrared spectroscopic investigation of E-type asteroids, including 2867 Steins, a target of the Rosetta mission // *Icarus*. 2008. V. 196. P. 119-134.
- Fornasier S., Clark B. E., Dotto E., Migliorini A., Ockert-Bell M., Barucci M. A. Spectroscopic survey of M-type asteroids // *Icarus*. 2010. V. 210. P. 655-673.
- Fornasier S., Clark B. E., Dotto E. Spectroscopic survey of X-type asteroids // *Icarus*. 2011. V. 214. 131-146.
- Fornasier S., Lantz C., Barucci M. A., Lazzarin M. Aqueous alteration on main belt primitive asteroids: Results from visible spectroscopy // *Icarus*. 2014. V. 233. 163-178.

- Gaffey M. J. Rotational spectral variations of asteroid (8) Flora: Implications for the nature of the S-type asteroids and for the parent bodies of the ordinary chondrites // *Icarus*. 1984. V. 60. P. 83–114.
- Gaffey M. J. Surface lithologic heterogeneity of asteroid 4 Vesta // *Icarus*. 1997. V. 127. P. 130-157.
- Gaffey M. J., Bell J. F., Cruikshank D. P. Reflectance spectroscopy and asteroid surface mineralogy / Asteroids II (Eds Binzel R. P., Gehrels T. and Matthews M. S.), Tucson: Univ. of Arizona Press, 1989. P. 98-127.
- Gaffey M. J., Cloutis E. A., Kelley M. S., Reed K. L. Mineralogy of asteroids / Asteroids III (Eds Bottke W. F. Jr., Cellino A., Paolicchi P., Binzel R.P.), Tucson: Univ. of Arizona Press, 2002. P. 183-204.
- Gaffey M. J., Kelley S. Mineralogical variations among high albedo E-type asteroids: Implications for asteroid igneous processes // 35th Lunar Planet. Sci. Conf., Houston, 2004. Abs. #1812.
- Gaffey M. J., Reddy V., Fieber-Beyer S., Cloutis E. Asteroid (354) Eleonora: Plucking an odd duck // *Icarus*. 2015. V. 250. P. 623-638.
- Golubeva L. F., Shestopalov D. I. Spectrometry of 4 Vesta near 505 nm pyroxene absorption band // 28th Lunar Planet. Sci. Conf., Houston, 1997. Abs. #1685.
- Grimm R. E., McSween H. Y. Jr. Heliocentric zoning of the asteroid belt by aluminum-26 heating // *Science*. 1993. V. 259. P. 653-655.
- Hardorp J. The Sun among the stars // *Astron. Astroph.* 1980. V. 91. P. 221-232.
- Hasegawa S., Murakawa K., Ishiguro M., Nonaka H., Takato N., Davis C. J., Ueno M., Hiroi T. Evidence of hydrated and/or hydroxylated minerals on the surface of asteroid 4 Vesta // *Geoph. Res. Let.* 2003. V. 30. P. 2123-2126.
- Hergenrother C. W., Nolan M. C., Binzel R. P. and 13 co-authors. Lightcurve, color and phase function photometry of the OSIRIS-REx target asteroid (101955) Bennu // *Icarus*. 2013. V. 226. P. 663-670.
- Hiroi T., Pieters C. M., Zolensky M. E., Lipschutz M. E. Evidence of thermal metamorphism on the C, G, B and F asteroids // *Science*. 1993. V. 261. P. 1016-1018.
- Hiroi T., Vilas F., Sunshine J. M. Discovery and analysis of minor absorption bands in S-asteroid visible reflectance spectra // *Icarus*. 1996. V. 119. P. 202-208.
- Johnston K. J., Lamphear E. J., Webster W. J., Lowman P. D., Jr., Seidelmann P. K., Kaplan G. H., Wade C. M., Hobbs R. W. The microwave spectra of the asteroids Pallas, Vesta, and Hygiea // *Astron. J.* 1989. V. 98. P. 335-340.
- Klima R. L., Pieters C. M., Dyar M. D. Pyroxene spectroscopy at visible wavelengths: effect of iron content on spin forbidden absorption features // 37th Lunar Planet. Sci. Conf., 2006. Abstract # 1637.
- Kurucz R. L. New atlases for solar flux, irradiance, central intensity, and limb intensity // *Memorie della Societa Astronomica Italiana Supplement*. 2005. V. 8. P.189-191.
- Larson H. P., Feierberg M. A., Lebofsky L. A. The composition of asteroid 2 Pallas and its relation to primitive meteorites // *Icarus*. 1983. V. 56. P. 398-408. of Asteroid 2 Pallas and Its Relation
- Lazzaro D., Angeli C.A., Carvano J.M., Mothé-Diniz T., Duffard R., Florczak M. S³OS²: the visible spectroscopic survey of 820 asteroids // *Icarus*. 2004. V.172. P. 179-220.
- Lazzarin M., Magrin S., Marchi S., Dotto E., Perna D., Barbieri C., Barucci M. A., Fulchignoni M. Rotational variation of the spectral slope of (21) Lutetia, the second asteroid target of ESA *Rosetta* mission // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 2010. V. 408. P. 1433-1437.
- Lebofsky L. A. Infrared reflectance spectra of asteroids A search for water of hydration // *Astron. J.* 1980. V. 85. P. 573-585.
- Lebofsky L. A., Feierberg M. A., Tokunaga A. T., Larson H. P., Johnson J. R. The 1.7- to 4.2- μ m spectrum of asteroid 1 Ceres: Evidence for structural water in clay minerals // *Icarus*. 1981. V. 48. P. 453-459.
- Lebofsky L. A., Sykes M. V., Tedesco E. F., Veeder G. J., Matson D. L., Brown R. H., Gradie J. C., Feierberg M. A., Rudy R. J. A refined 'standard' thermal model for asteroids based on observations of 1 Ceres and 2 Pallas // *Icarus*. 1986. V. 68. P. 239-251.
- Li J.-Y., McFadden, L. A., Parker J. Wm., Young E. F., Stern S. A., Thomas P. C., Russell C. T., Sykes M. V. Photometric analysis of 1 Ceres and surface mapping from HST observations // *Icarus*. 2006. V. 182. P. 143-160.
- Li J.-Y., Bodewits D., Feaga L. M., Landsman W., A'Hearn M. F., Muchler M. J., Russell C. T., McFadden L. A., Raymond C. A. Ultraviolet spectroscopy of Asteroid (4) Vesta // *Icarus*. 2011. V. 216. P. 640-649.
- Loeffler B. M., Burns R. G., Tossel J. A. Vaughan D. J., Johnson K. H. Charge transfer in lunar materials: Interpretation of ultraviolet-visible spectral properties of the moon // *Proc. of the Fifth Lunar Conf. (Supplement 5. Geochimica et Cosmochimica Acta)*. 1974. V. 3. P. 3007-3016.
- Mattson S. M., Rossman G. R. Ferric iron in tourmaline // *Phys. Chem. Minerals*. 1984. V. 11. P. 225-234.
- McCord T. B., Adams J. B., Johnson T. V. Asteroid Vesta: Spectral reflectivity and compositional implications // *Science*. 1970. V. 168. P. 1445-1447.
- McCord T. B., Chapman C. R. Asteroids: Spectral reflectance and color characteristics. II // *Astrophys. J.* 1975. V. 197. P. 781-790.
- McCord T. B., Sotin C. Ceres: Evolution and current state // *J. Geophys. Res.* 2005. V. 110. Iss. E5. CiteID E05009.
- McFadden L. A., McCord T. B., Pieters C. Vesta: The first pyroxene band from new spectroscopic measurements // *Icarus*. 1977. V. 31. P. 439-446.
- McCord T. B., Li J.-Y., Combe J.-P. and 26 coauthors. Dark material on Vesta from the infall of carbonaceous volatile-rich material // *Nature*. 2012. V. 491. P. 83-86.
- McSween H. Y. Jr., Ghosh A., Grimm R. E., Wilson L., Young E. D. Thermal evolution models of asteroids / Asteroids III (Eds Bottke W. et al.) Tucson: Univ. of Arizona Press, 2002. P. 559-571.
- Michalowski T. Pole and shape determination for 12 asteroids // *Icarus*. 1996. V. 123. P. 456-462.

- Morrison D., Zellner B. Polarimetry and radiometry of the asteroids / Asteroids (Ed. T. Gehrels), Tucson, University of Arizona Press, 1979. P. 1090-1097.
- Ockert-Bell M. E., Clark B. E., Sheppard M. K., Isaacs R. A., Cloutis E. A., Fornasier S., Bus S. J. The composition of M-type asteroids: Synthesis of spectroscopic and radar observations // Icarus. 2010. V. 210. P. 674-692.
- Perna D., Kaňuchová Z., Ieva S., Fornasier S., Barucci M. A., Lantz C., Dotto E., Strazzulla G. Short-term variability over the surface of (1) Ceres: A changing amount of water ice? // Astron. & Astroph. 2015. V. 575. Id. L1, 6 pp.
- Pieters C. M., Hiroi T. RELAB (reflectance experiment laboratory): A NASA multiuser spectroscopy facility // 35th Lunar and Planet. Sci. Conf., 2004. Abstract #1720.
- Pieters C. M., Goswami J. N., Clark R. N. and 26 coauthors. Character and spatial distribution of OH/H₂O on the surface of the Moon seen by M³ on Chandrayaan-1 // Science. 2009. V. 326. P. 568-572
- Reddy V., Le Corre L., O'Brien D. P. and 22 coauthors. Delivery of dark material to Vesta via carbonaceous chondritic impacts // Icarus. 2012. V. 221. P. 544-559.
- Rossmann G. R. Spectroscopic and magnetic studies of ferric iron hydroxy sulfates: Intensification of color in ferric iron clusters bridged by a single hydroxide ion // Americ. Mineralogist. 1975. V. 60, P. 698-704.
- Rivkin A. S., Howell E. S., Britt D. T., Lebofsky L. A., Nolan M. C., Branston D. D. 3- μ m Spectrophotometric Survey of M- and E-Class Asteroids // Icarus. 1995. V. 117. P. 90-100.
- Rivkin A. S., Howell E. S., Lebofsky L. A., Clark B. E., Britt D. T. The nature of M-class asteroids from 3- μ m observations // Icarus. 2000. V. 145. P. 351-368.
- Russell C. T., Coradini A., Christensen U. and 18 co-authors. Dawn: A journey in space and time // Planet. Space Sci. 2004. V. 52. P. 465-489.
- Shepard M. K., Clark B. E., Ockert-Bell M. and 10 co-authors. A radar survey of M- and X-class asteroids II. Summary and synthesis // Icarus. 2010. V. 208. P. 221-237.
- Shepard M. K., Harris A. W., Taylor P. A. and 7 co-authors. Radar observations of Asteroids 64 Angelina and 69 Hesperia // Icarus. 2011. V. 215. P. 547-551.
- Schmidt B. E., Thomas P. C., Bauer J. M., Li J.-Y., McFadden L. A., Mutchler M. J., Radcliffe S. C., Rivkin A. S., Russell C. T., Parker J. Wm., Stern S. A. The Shape and Surface Variation of 2 Pallas from the Hubble Space Telescope // Science. 2009. V. 326. P. 275-278.
- Taran M. N., Rossmann G. R. High-temperature, high-pressure optical spectroscopic study of ferric-iron-bearing tourmaline // Americ. Mineralogist. 2002. V. 87, P. 1148-1153.
- Tedesco E. F., Egan M. P., Price S. D. The Midcourse Space Experiment infrared minor planet survey // Astron. J. 2002. V. 124. P. 583-591.
- Tedesco E. F., Noah P. V., Noah M., Price S. D. IRAS minor planet survey V6.0 // NASA Planetary Data System, IRAS-A-FPA-3-RDR-IMPS-V6.0, 2004.
- Tholen D. J. Asteroid taxonomic classifications / Asteroids II (Eds Binzel R. P., Gehrels T. and Matthews M. S.), Tucson: Univ. of Arizona Press, 1989. P. 1139-1150.
- Tholen D. J., Barucci M. A. Asteroid taxonomy / Asteroids II (Eds Binzel R. P., Gehrels T. and Matthews M. S.), Tucson: Univ. of Arizona Press, 1989. P. 298-315.
- Thomas P. S., Binzel R. P., Gaffey M. J., Storrs A. D., Wells E. N., Zellner B. H. Impact excavation on asteroid 4 Vesta: Hubble Space Telescope results // Science. 1997. V. 277. P. 1492-1495.
- Thomas P. C., Parker J. Wm., McFadden L. A., Russell C. T., Stern S. A., Sykes M. V., Young E. F. Differentiation of the asteroid Ceres as revealed by its shape // Nature. 2005. V. 437. P. 224-226.
- Wagner J. K., Hapke B. W., Wells E. N. Atlas of reflectance spectra of terrestrial, lunar, and meteoritic powders and frosts from 92 to 1800 NM // Icarus. 1987. V. 69. P. 14-28.
- Webster W. J., Johnston K. J., Hobbs R. W., Lamphear E. J., Wade C. M., Lowman P. D., Jr., Kaplan G. H., Seidelmann P. K. The microwave spectrum of asteroid Ceres // Astron. J. 1988. V. 95. P. 1263-1268.
- Zolensky M. E., Weisberg M. K., Buchanan P. C., Mittlefehldt D. W. Mineralogy of carbonaceous chondrite clasts in HED achondrites and the Moon // Met. Planet. Sci. 1996. V. 31. P. 518-537.

Таблица 1. Наблюдательные параметры астероидов, стандартных звезд и условия получения спектров

1 Церера (G-C), T _{sp} = 9:07417													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или SA													
16 Cyg B	2007 10 04	21 03 04	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.394	-	-	-
1	2007 10 05	02 38 31	03 33 19	+09 04 06	2.035	2.843	14.1	8.0	0.000	1.436	0.023	0.014	0.023
2	2007 10 05	02 52 29	03 33 19	+09 04 05	2.035	2.843	14.1	8.0	0.026	1.491	0.017	0.008	0.018
3	2009 04 02	20 44 45	10 34 53	+25 43 57	1.743	2.552	16.0	7.5	0.449	1.094	0.013	0.005	0.012
4	2009 04 02	22 27 46	10 34 51	+25 43 47	1.743	2.552	16.0	7.5	0.638	1.303	0.021	0.007	0.024
HD 117176	2009 04 03	0049 02	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.379	-	-	-
2 Паллада (B), T _{sp} = 7:8132													
1	1993 08 24	23 29 01	21 47 22	+08 10 08	2.359	3.326	6.0	9.1	-	1.462	0.036	0.013	0.030
HD 199999	1993 08 25	01 34 31	21 00 09	+19 56 24	-	-	-	7.3	-	1.922	-	-	-
4 Веста (V), T _{sp} = 5:342													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω , L (°)	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или SA													
16 Cyg B	2008 10 28	17 59 30	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.310	-	-	-

1	2008 10 28	23 24 05	02 33 22	+03 38 35	1.539	2.521	4.3	6.4	0.000; 203.9	1.676	0.036	0.011	0.023
2	2008 10 29	00 06 36	02 33 20	+03 38 28	1.539	2.521	4.3	6.4	0.133; 251.6	1.984	0.037	0.010	0.024
16 Суг В	2008 10 29	18 29 30	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.425	-	-	-
3	2008 10 29	23 28 49	02 32 22	+03 34 52	1.539	2.522	4.2	6.4	0.507; 26.5	1.740	0.033	0.009	0.029
4	2008 10 30	00 28 30	02 32 19	+03 34 43	1.539	2.522	4.2	6.4	0.694; 93.5	2.288	0.041	0.018	0.015
6 Геба (S), T_{sp} = 7:2745													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
HD 117176	2005 04 03	23 58 15	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.249	-	-	-
1	2005 04 04	01 54 02	14 04 26	+08 29 03	1.965	2.913	7.6	10.0	0.000	1.630	0.028	0.016	0.023
2	2005 04 04	01 58 59	14 04 26	+08 29 05	1.965	2.913	7.6	10.0	0.011	1.658	0.030	0.021	0.017
3	2005 04 04	02 04 01	14 04 26	+08 29 06	1.965	2.913	7.6	10.0	0.023	1.692	0.026	0.010	0.032
HD 117176	2009 04 03	00 49 02	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.379	-	-	-
4	2009 04 03	02 04 02	15 26 28	+02 30 59	2.038	2.877	12.9	10.2	0.849	1.502	0.019	0.008	0.027
7 Ирида (S), T_{sp} = 7:139													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2004 03 25	22 52 21	11 01 12	-03 06 46	1.685	2.645	7.3	9.3	0.000	1.271	0.020	0.011	0.023
2	2004 03 25	23 02 23	11 01 11	-03 06 43	1.685	2.645	7.3	9.3	0.023	1.345	0.014	0.013	0.025
HD 101177	2004 03 26	01 23 45	11 38 45	+45 06 30	-	-	-	6.4	-	1.351	-	-	-
8 Флора (S), T_{sp} = 12:799													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2005 04 03	20 18 01	07 40 06	+24 50 07	1.847	2.227	26.4	10.6	0.000	1.510	0.030	0.020	0.015
2	2005 04 03	20 24 29	07 40 07	+24 50 06	1.847	2.227	26.4	10.6	0.008	1.547	0.024	0.017	0.020
3	2005 04 03	20 30 02	07 40 07	+24 50 06	1.847	2.227	26.4	10.6	0.016	1.579	0.025	0.023	0.020
HD 117176	2005 04 03	23 58 15	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.249	-	-	-
HD 117176	2009 04 04	01 21 03	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.545	-	-	-
9 Метиса (S), T_{sp} = 5:079													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
16 Суг В	2008 11 28	17 09 31	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.345	-	-	-
HD 10307	2008 11 28	22 25 29	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.268	-	-	-
1	2008 11 28	21 33 02	02 24 10	+11 02 43	1.202	2.116	13.4	9.1	0.000	1.355	0.022	0.014	0.025
1а	2008 11 28	21 33 02	02 24 10	+11 02 43	1.202	2.116	13.4	9.1	0.000	1.355	0.022	0.018	0.025
HD 10307	2008 12 01	22 59 16	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.422	-	-	-
2	2008 12 01	21 02 32	02 22 19	+11 06 30	1.219	2.115	14.7	9.1	0.076	1.303	0.012	0.007	0.019
10 Гигия (C), T_{sp} = 27:623													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
16 Суг В	2007 10 04	21 03 04	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.394	-	-	-
1	2007 10 04	22 42 11	00 27 01	+08 51 24	2.370	3.367	1.7	10.2	0.000	1.307	0.046	0.012	0.047
2	2007 10 04	23 16 58	00 27 00	+08 51 17	2.370	3.367	1.7	10.2	0.021	1.390	0.094	0.019	0.072
HD 10307	2008 11 25	23 25 00	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.432	-	-	-
3	2008 11 26	02 09 35	04 44 36	+25 14 24	2.516	3.494	2.6	10.4	0.340	1.628	0.024	0.006	0.100
4	2008 11 26	03 11 02	04 44 34	+25 14 19	2.516	3.494	2.6	10.4	0.377	2.170	0.023	0.008	0.065
HD 10307	2008 12 01	22 59 15	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.422	-	-	-
5	2008 12 02	02 13 08	04 39 24	+25 01 25	2.507	3.492	0.9	10.3	0.556	1.937	0.080	0.018	0.049
11 Партенопа (S), T_{sp} = 13:7293													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2007 04 11	21 54 02	11 43 14	+08 23 50	1.700	2.621	10.8	10.5	0.000	1.366	0.018	0.010	0.023
2	2007 04 11	22 09 59	11 43 14	+08 23 52	1.700	2.621	10.8	10.5	0.019	1.411	0.019	0.010	0.026
3	2007 04 11	22 26 29	11 43 14	+08 23 55	1.700	2.621	10.8	10.5	0.039	1.469	0.035	0.021	0.025
HD 117176	2007 04 11	22 49 03	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.00	-	1.195	-	-	-
12 Виктория (S-L), T_{sp} = 8:6599													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
16 Суг В	2007 10 04	21 03 04	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.394	-	-	-
1	2007 10 05	01 06 02	00 41 54	+16 18 10	1.064	2.054	5.7	9.4	0.000	1.642	0.020	0.012	0.022
2	2007 10 05	01 19 59	00 41 53	+16 18 04	1.064	2.054	5.7	9.4	0.027	1.747	0.012	0.007	0.023
13 Эгерия (G-C), T_{sp} = 7:045													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
16 Суг В	2007 10 03	21 20 01	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.469	-	-	-
1	2007 10 03	23 35 29	01 33 28	-03 21 18	1.652	2.629	5.9	10.4	0.000	1.561	0.027	0.015	0.043
2	2007 10 04	00 12 31	01 33 26	-03 21 20	1.652	2.629	5.9	10.4	0.088	1.670	0.020	0.008	0.045
3	2009 04 04	00 33 00	10 11 43	+33 46 56	1.673	2.394	19.9	10.8	0.915	2.075	0.021	0.012	0.041
HD 117176	2009 04 04	01 21 03	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.545	-	-	-
14 Ирена (S), T_{sp} = 15:06													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
HD 117176	2009 04 03	00 49 02	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.379	-	-	-
1	2009 04 03	01 39 29	14 28 09	+00 28 02	1.229	2.175	11.4	9.1	0.000	1.674	0.018	0.008	0.031
2	2009 04 04	01 11 02	14 27 29	+00 31 33	1.225	2.175	11.0	9.1	0.562	1.881	0.025	0.007	0.020
HD 117176	2009 04 04	01 21 03	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.545	-	-	-
16 Психея (M-X), T_{sp} = 4.196													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	г (а. е.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
HD 10307	2005 11 05	23 37 03	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.406	-	-	-

1	2005 11 06	02 29 27	05 25 32	+18 40 25	1.783	2.627	13.8	10.0	0.000	1.526	0.054	0.025	0.035
2	2005 11 06	02 38 29	05 25 31	+18 40 24	1.783	2.627	13.8	10.0	0.036	1.576	0.052	0.023	-
18 Мельпомена (S), T_{ep} = 11°57'													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2007 04 11	19 38 02	08 01 52	+18 45 25	2.153	2.487	23.6	11.1	0.000	1.468	0.022	0.016	0.030
2	2007 04 11	19 57 27	08 01 53	+18 45 26	2.153	2.487	23.6	11.1	0.028	1.577	0.036	0.019	0.020
HD 117176	2007 04 11	22 49 03	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.195	-	-	-
21 Лютеция (M-X), T_{ep} = 8°16'55"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
16 Суг В	2004 11 05	17 55 08	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.221	-	-	-
1	2004 11 05	23 48 27	02 32 55	+11 20 50	1.257	2.245	2.5	9.9	0.000	1.450	0.018	0.005	0.011
2	2004 11 05	23 54 26	02 32 54	+11 20 50	1.257	2.245	2.5	9.9	0.012	1.488	0.018	0.003	0.014
16 Суг В	2004 11 07	17 50 05	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.223	-	-	-
3	2004 11 07	21 07 13	02 31 03	+11 15 06	1.263	2.249	3.3	10.0	0.545	1.300	0.037	0.011	0.016
4	2004 11 07	21 13 25	02 31 02	+11 15 05	1.263	2.249	3.3	10.0	0.558	1.323	0.017	0.005	0.026
5	2004 11 07	21 20 54	02 31 02	+11 15 05	1.263	2.249	3.3	10.0	0.573	2.062	0.013	0.007	0.016
6	2004 11 07	21 26 57	02 31 02	+11 15 04	1.263	2.249	3.3	10.0	0.585	2.167	0.013	0.006	0.017
23 Талия (S), T_{ep} = 12°31'22"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
HD 117176	2007 04 11	22 49 03	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.195	-	-	-
1	2007 04 12	00 15 27	12 04 35	+16 10 43	1.302	2.222	13.4	10.0	0.000	1.745	0.026	0.014	0.016
29 Амфитрита (S), T_{ep} = 5°39'21"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2009 04 04	00 00 06	11 50 48	-00 24 02	1.675	2.650	6.1	9.5	-	2.155	0.039	0.018	0.020
HD 117176	2009 04 04	01 21 03	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.545	-	-	-
43 Ариадна (S), T_{ep} = 5°7'62"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2005 11 05	21 56 04	01 38 59	+15 13 25	1.328	2.298	6.7	10.9	0.000	1.397	0.036	0.027	0.048
2	2005 11 05	22 02 29	01 38 58	+15 13 23	1.328	2.298	6.7	10.9	0.019	1.414	0.030	0.022	0.034
HD 10307	2005 11 05	23 37 03	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.406	-	-	-
45 Евгения (FC-C), T_{ep} = 5°16'59"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2009 04 04	23 59 02	11 35 38	+08 42 38	1.634	2.577	9.4	11.3	-	1.911	0.022	0.011	0.031
HD 117176	2009 04 05	00 40 33	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.378	-	-	-
51 Немауса (CU-C), T_{ep} = 7°7'83"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2005 11 05	19 29 32	00 25 11	-03 37 50	1.666	2.512	14.5	11.4	0.000	1.616	0.046	0.025	0.038
2	2005 11 05	19 41 29	00 25 11	-03 37 52	1.666	2.512	14.5	11.4	0.026	1.652	0.051	0.027	0.050
3	2005 11 05	19 52 01	00 25 11	-03 37 54	1.667	2.512	14.5	11.4	0.048	1.686	0.047	0.028	0.058
HD 10307	2005 11 05	23 37 03	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.406	-	-	-
55 Пандора (M), T_{ep} = 4°18'04"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
HD 10307	2005 11 05	23 37 03	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.406	-	-	-
1	2005 11 06	01 12 32	03 01 53	+24 48 10	1.425	2.408	4.0	10.8	0.000	1.827	0.035	0.022	0.051
2	2005 11 06	01 21 02	03 01 53	+24 48 09	1.425	2.408	4.0	10.8	0.029	1.881	0.032	0.017	0.054
3	2005 11 06	01 29 31	03 01 53	+24 48 09	1.425	2.408	4.0	10.8	0.059	1.984	0.029	0.022	0.052
64 Ангелина (E-X), T_{ep} = 8°7'52"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2004 11 06	00 58 03	03 02 56	+19 25 39	1.607	2.595	2.0	10.9	0.000	1.465	0.022	0.007	-
2	2004 11 06	01 58 36	03 02 54	+19 25 29	1.607	2.595	2.0	10.9	0.116	1.870	0.023	0.011	0.035
16 Суг В	2004 11 05	21 35 06	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.324	-	-	-
16 Суг В	2004 11 07	21 55 08	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.401	-	-	-
3	2004 11 07	22 22 24	03 01 09	+19 18 18	1.603	2.593	1.3	10.9	0.188	1.128	0.034	0.016	0.041
4	2004 11 07	22 29 46	03 01 08	+19 18 17	1.603	2.593	1.3	10.9	0.202	1.134	0.027	0.012	0.039
5	2004 11 07	22 37 12	03 01 08	+19 18 16	1.603	2.593	1.3	10.9	0.216	1.140	0.025	0.010	0.038
67 Азия (S), T_{ep} = 15°08'9"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2005 11 05	22 43 32	02 41 04	+11 58 33	1.376	2.366	1.7	11.1	0.000	1.395	0.021	0.011	0.038
2	2005 11 05	22 51 02	02 41 04	+11 58 31	1.376	2.366	1.7	11.1	0.008	1.424	0.023	0.015	0.041
HD 10307	2005 11 05	23 37 03	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.406	-	-	-
69 Гесперия (M-X), T_{ep} = 5°16'55"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													
1	2005 04 03	22 20 01	09 49 38	+08 14 15	1.829	2.610	16.4	11.3	0.000	1.927	0.032	0.019	-
2	2005 04 03	22 42 03	09 49 38	+08 14 19	1.829	2.610	16.4	11.3	0.065	2.160	0.036	0.025	-
3	2005 04 03	22 56 02	09 49 38	+08 14 21	1.829	2.610	16.4	11.3	0.106	2.348	0.035	0.025	0.032
HD 117176	2005 04 04	02 25 02	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.966	-	-	-
80 Сафо (S), T_{ep} = 14°03'0"													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (")	ω	M(z)	σ ₁	σ ₂	σ ₃
№ спектра или СА													

16 Суг В	2004 11 07	17 55 08	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.221	-	-	-
1	2004 11 08	02 20 18	04 27 24	+16 25 42	1.046	1.998	10.9	10.3	0.000	1.596	0.021	0.011	0.012
2	2004 11 08	02 34 59	04 27 24	+16 25 36	1.046	1.998	10.9	10.3	0.017	1.656	0.018	0.008	0.014
3	2004 11 08	02 44 44	04 27 23	+16 25 33	1.046	1.998	10.9	10.3	0.029	1.719	0.026	0.010	0.021
83 Беатриса (X), T_{eq} = 10.°16													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
1	2005 04 04	20 51 01	10 12 10	+16 28 16	1.441	2.253	18.7	12.2	0.000	1.243	0.016	0.006	0.049
2	2005 04 04	21 00 32	10 12 10	+16 28 15	1.441	2.253	18.7	12.2	0.016	1.263	0.023	0.013	0.053
3	2005 04 04	21 10 29	10 12 10	+16 28 14	1.442	2.253	18.7	12.2	0.032	1.289	0.026	0.015	0.058
HD 117176	2005 04 04	22 18 30	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.198	-	-	-
92 Ундина (X), T_{eq} = 15.°94													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
1	2005 11 05	20 45 02	02 28 35	+00 38 56	2.014	2.980	5.2	10.9	0.000	1.408	0.016	0.010	0.035
2	2005 11 05	21 00 03	02 28 35	+00 38 55	2.014	2.980	5.2	10.9	0.016	1.424	0.017	0.011	0.052
HD 10307	2005 11 05	23 37 03	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.406	-	-	-
115 Фира (S), T_{eq} = 7.°241													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
16 Суг В	2007 10 03	21 20 01	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.469	-	-	-
1	2007 10 03	21 59 03	22 11 25	+04 04 48	1.162	2.055	16.8	10.3	0.000	1.736	0.016	0.009	0.026
2	2007 10 03	22 18 29	22 11 25	+04 04 46	1.162	2.055	16.8	10.3	0.045	1.889	0.017	0.008	0.023
3	2007 10 03	22 35 31	22 11 25	+04 04 45	1.162	2.055	16.8	10.3	0.084	2.045	0.015	0.008	0.024
16 Суг В	2007 10 04	21 03 04	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.394	-	-	-
4	2007 10 04	21 46 33	22 10 56	+04 03 14	1.167	2.053	17.2	10.4	0.286	1.704	0.023	0.013	0.031
5	2007 10 04	22 04 29	22 10 56	+04 03 13	1.167	2.053	17.2	10.4	0.327	1.822	0.030	0.021	0.032
129 Антигона (M-X), T_{eq} = 4.°9572													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
HD 117176	2005 04 02	23 49 30	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.228	-	-	-
1	2005 04 03	01 55 01	15 34 44	+00 27 28	1.463	2.307	16.8	10.4	0.000	1.496	0.016	0.008	0.019
2	2005 04 03	02 02 58	15 34 44	+00 27 30	1.463	2.307	16.8	10.4	0.027	1.518	0.024	0.016	0.021
HD 117176	2005 04 04	22 18 30	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.198	-	-	-
3	2005 04 05	01 52 59	15 34 32	+00 42 49	1.447	2.305	16.2	10.4	0.676	1.501	0.020	0.008	0.025
4	2005 04 05	02 00 31	15 34 32	+00 42 52	1.447	2.305	16.2	10.4	0.701	1.522	0.022	0.005	0.016
135 Герта (M-X), T_{eq} = 8.°403													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
16 Суг В	2004 11 07	17 49 39	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.223	-	-	-
1	2004 11 07	19 18 21	00 28 31	+05 54 41	1.237	2.115	16.3	11.2	0.000	1.298	0.036	0.017	0.081
2	2004 11 07	19 23 30	00 28 31	+05 54 41	1.237	2.115	16.3	11.2	0.012	1.301	0.048	0.017	0.081
3	2004 11 07	19 32 38	00 28 31	+05 54 40	1.237	2.115	16.3	11.2	0.030	1.306	0.021	0.008	0.060
4	2004 11 07	19 38 40	00 28 31	+05 54 40	1.237	2.115	16.3	11.2	0.042	1.311	0.057	0.012	0.056
16 Суг В	2008 10 28	16 37 30	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.123	-	-	-
5	2008 10 29	01 28 43	03 27 13	+22 29 25	1.308	2.269	8.4	11.2	0.451	1.689	0.060	0.010	0.059
16 Суг В	2008 10 29	18 29 30	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.425	-	-	-
6	2008 10 30	00 56 04	03 26 14	+22 26 57	1.307	2.271	7.9	11.2	0.243	1.447	0.034	0.007	0.100
141 Лумен (CPF), T_{eq} = 19.°86													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
16 Суг В	2008 10 30	18 35 29	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.460	-	-	-
1	2008 10 30	20 52 32	01 26 58	+32 12 37	1.166	2.119	10.1	10.8	0.000	1.065	0.033	0.015	0.048
196 Филомена (S), T_{eq} = 8.°3340													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
16 Суг В	2008 10 28	16 37 30	19 41 52	+50 31 00	-	-	-	6.2	-	1.123	-	-	-
1	2008 10 28	23 47 28	02 39 26	+09 21 10	2.163	3.151	2.3	11.0	0.000	1.604	0.041	0.010	0.115
2	2008 11 28	21 06 36	02 16 22	+08 35 53	2.279	3.156	9.7	11.5	0.887	1.344	0.030	0.007	0.062
HD 10307	2008 11 28	22 25 30	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.268	-	-	-
3	2008 12 01	20 34 48	02 14 47	+08 35 56	2.304	3.157	10.5	11.5	0.457	1.304	0.058	0.026	0.120
HD 10307	2008 12 01	22 59 15	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.422	-	-	-
198 Ампельла (S), T_{eq} = 10.°383													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
HD 10307	2003 11 02	23 45 23	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.244	-	-	-
1	2003 11 02	22 37 01	01 01 03	+23 11 40	1.005	1.958	11.3	10.5	0.000	1.105	0.026	0.010	0.056
2	2003 11 02	22 45 02	01 01 03	+23 11 36	1.005	1.958	11.3	10.5	0.013	1.108	0.037	0.008	0.078
3	2003 11 02	23 06 59	01 01 02	+23 11 26	1.005	1.958	11.3	10.5	0.048	1.113	0.039	0.018	0.086
230 Атлантис (S), T_{eq} = 24.°0055													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
HD 10307	2008 12 01	22 59 15	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.422	-	-	-
1	2008 12 02	03 04 02	08 53 53	+07 03 46	1.776	2.379	21.9	11.4	0.000	1.319	0.037	0.014	0.056
2	2008 12 02	03 45 33	08 53 53	+07 03 34	1.777	2.379	21.9	11.4	0.029	1.412	-	-	0.038
250 Беттина (M-X), T_{eq} = 5.°0545													
Параметр	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (a. e.)	r (a. e.)	φ (°)	V (°)	ω	M(z)	σ_1	σ_2	σ_3
№ спектра или СА													
1	2005 04 04	22 05 31	10 08 31	+24 12 30	2.186	2.924	15.4	12.5	0.000	1.365	0.037	0.015	0.045
2	2005 04 04	22 15 02	10 08 31	+24 12 28	2.186	2.924	15.4	12.5	0.031	1.403	0.063	0.038	0.049

3	2005 04 04	22 26 59	10 08 31	+24 12 26	2.186	2.924	15.4	12.5	0.071	1.457	0.036	0.025	0.069
HD 117176	2005 04 04	22 18 30	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.198	-	-	-
264 Либусса (S), T_{вр} = 9.°2276													
Параметр № спектра или СА	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	r (а. е.)	φ (°)	V (°)	ω	$M(z)$	σ_1	σ_2	σ_3
HD 10307	2008 12 01	22 59 15	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.422	-	-	-
1	2008 12 02	00 28 04	03 47 28	+24 21 12	1.497	2.473	4.3	11.6	-	1.518	0.025	0.012	0.039
349 Дембовска (R), T_{вр} = 4.°701													
Параметр № спектра или СА	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	r (а. е.)	φ (°)	V (°)	ω	$M(z)$	σ_1	σ_2	σ_3
1	2004 03 25	21 03 01	10 35 07	+18 20 49	2.240	3.124	10.0	10.6	0.000	1.254	0.024	0.013	0.026
2	2004 03 25	21 17 46	10 35 06	+18 20 49	2.240	3.124	10.0	10.6	0.052	1.271	0.016	0.005	0.015
3	2004 03 25	21 27 09	10 35 06	+18 20 49	2.240	3.124	10.0	10.6	0.086	1.299	0.017	0.006	0.021
HD 101177	2004 03 26	01 23 45	11 38 45	+45 06 30	-	-	-	6.4	-	1.351	-	-	-
532 Геркулина (S), T_{вр} = 9.°405													
Параметр № спектра или СА	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	r (а. е.)	φ (°)	V (°)	ω	$M(z)$	σ_1	σ_2	σ_3
1	2008 12 01	22 23 34	03 49 19	+01 48 57	2.056	2.989	7.3	10.2	0.000	1.485	0.025	0.012	0.028
HD 10307	2008 12 01	22 59 15	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.422	-	-	-
2	2010 04 12	00 46 02	11 55 40	+28 28 29	1.435	2.278	17.2	9.2	0.962	1.722	0.036	0.013	0.037
HD 117176	2010 04 12	01 06 32	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.602	-	-	-
584 Семирамида (S), T_{вр} = 5.°068													
Параметр № спектра или СА	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	r (а. е.)	φ (°)	V (°)	ω	$M(z)$	σ_1	σ_2	σ_3
HD 10307	2003 08 09	21 15 27	01 41 47	+42 36 48	-	-	-	4.9	-	1.619	-	-	-
1	2003 08 09	22 58 02	21 13 26	-02 14 55	0.939	1.939	7.0	10.5	0.000	1.541	0.059	0.019	0.035
2	2003 08 09	23 04 43	21 13 26	-02 14 54	0.939	1.939	7.0	10.5	0.022	1.556	0.039	0.012	0.026
785 Зетана (M-C), T_{вр} = 8.°8882													
Параметр № спектра или СА	Дата	UT (h m s)	α (h m s)	δ (° ' ")	Δ (а. е.)	r (а. е.)	φ (°)	V (°)	ω	$M(z)$	σ_1	σ_2	σ_3
HD 117176	2005 04 03	23 58 15	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.249	-	-	-
1	2005 04 04	00 49 32	14 26 10	+04 53 36	1.079	2.028	12.3	11.9	0.000	1.399	0.017	0.006	0.031
2	2005 04 04	00 57 29	14 26 09	+04 53 37	1.079	2.028	12.3	11.9	0.015	1.419	0.021	0.008	0.027
3	2005 04 04	01 07 59	14 26 09	+04 53 37	1.079	2.028	12.3	11.9	0.035	1.446	0.023	0.007	0.032
HD 117176	2005 04 04	22 18 30	13 28 26	+13 46 44	-	-	-	5.0	-	1.198	-	-	-
4	2005 04 05	00 27 32	14 25 26	+04 54 43	1.076	2.028	11.9	11.9	0.659	1.365	0.024	0.011	0.038
5	2005 04 05	00 52 29	14 25 25	+04 54 44	1.076	2.028	11.9	11.9	0.706	1.414	0.055	0.018	-
6	2005 04 05	00 59 59	14 25 26	+04 54 44	1.076	2.028	11.9	11.9	0.720	1.436	0.085	0.033	0.045

Обозначения и примечания:

СА – звезда - солнечный аналог; UT – всемирное время регистрации спектра астероида (на середину экспозиции); α и δ – прямое восхождение и склонение астероида или стандартной звезды на момент наблюдений; Δ и r – геоцентрическое и гелиоцентрическое расстояния астероида; φ и V – световой фазовый угол и видимая звездная величина астероида; ω – относительная фаза вращения астероида (она принимается равной нулю для первого из полученных спектров); $M(z)$ – атмосферная воздушная масса для астероида или стандартной звезды в момент наблюдений; ошибки спектров отражения астероидов: σ_1 – стандартное отклонение у 0.44-0.45 мкм, σ_2 – стандартное отклонение у 0.59-0.60 мкм, σ_3 – стандартное отклонение у 0.84-0.85 мкм; L – долгота субтеральной точки на Весте, рассчитанная по формуле, взятой из работы Кохран и Вилас (Cochran, Vilas, 1998). Ошибки σ_1 , σ_2 и σ_3 на спектре отражения 2 Паллады рассчитаны у 0.38-0.40 мкм, 0.50-0.53 мкм и 0.70-0.73 мкм соответственно. Эфемериды астероидов были получены с сайта Центра малых планет (IAU MPC) (<http://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>). В скобках после названия астероида указан его таксономический тип в соответствии с классификациями Толена (Tholen, 1989) и Бас (Bus, Binzel, 2002b), а также период вращения ($T_{вр}$) (Батраков и др., 2009).