

УДК 523.6-13

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ АСТЕРОИДА ПО СНИМКАМ, ПОЛУЧЕННЫМ НА БТА

© 2011 О. П. Быков<sup>1</sup>, К. Л. Масленников<sup>1</sup>, Ю. А. Чернетенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, 196140 Россия

<sup>2</sup>Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, 191187 Россия

Поступила в редакцию 26 февраля 2010 г.; принята в печать 22 марта 2010 г.

Представлены результаты отождествления астероида Главного пояса 2006 HO153, случайно зафиксированного во время выполнения программы наблюдений транснептуновых объектов в 1998 г. Кратко описана методика идентификации, существенным моментом которой является использование скоростей изменения сферических координат наблюдаемого астероида.

Ключевые слова: Солнечная система — планеты, кометы: астероиды

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В 1996 и 1998 гг. на БТА по заявке Пулковской обсерватории проводились наблюдения транснептуновых малых планет пояса Койпера. Получена серия ПЗС-снимков в различных фильтрах, на которых было зарегистрировано около 20-ти объектов этого пояса. Позднее в Пулково была выполнена обработка материалов наблюдений, в результате которой, помимо программных объектов, были выявлены два астероида Главного пояса. Они оставили на ПЗС-кадрах отчетливые изображения в виде продолговатых штрихов. Это смещение малых планет относительно звезд было хорошо заметно при сравнении близких по времени последовательных кадров одного и того же звездного поля. Естественно, возник вопрос, какие именно астероиды оказались зафиксированными в процессе выполненных наблюдений, и были ли они известны ранее или являются новыми.

В работе [1] были представлены основные результаты выполненных нами исследований по тематике наблюдений транснептуновых объектов пояса Койпера, а также отмечено наличие на ПЗС-кадрах случайно зафиксированного астероида Главного пояса, впоследствии получившего предварительное обозначение 1996 TW59. После наших июньских наблюдений в 1996 г, которые не были своевременно обработаны, его независимо повторно наблюдали итальянские астрономы в октябре того же года. Они вычислили его координаты и сообщили их в Международный центр малых планет (Minor Planet Center, MPC). По существующим правилам они получили право считаться первооткрывателями данного астероида. Позднее MPC подтвердил наши наблюдения,

но права первооткрывателей в соответствии с правилами остались за итальянцами. Вычисленные нами положения объекта 1996 TW59 вошли в базу данных MPC и были использованы для уточнения его орбиты.

Второй из зафиксированных нами объектов Главного пояса мы в течение многих лет не могли отождествить ни с каким другим небесным телом. Его видимый блеск оказался гораздо слабее, чем у первого астероида, и во время наших наблюдений 1998 года ни одна из любительских и профессиональных обсерваторий мира не наблюдала его. Только в 2006 году две обсерватории в США, оснащенные крупными телескопами — Kitt Peak (код 695 по каталогу обсерваторий) и Cerro Tololo (код 807) — зафиксировали объект 2006 HO153 (всего 6 наблюдений за 3 ночи), орбита которого, согласно вычислениям, имела примерно такие же элементы, как и наша круговая орбита. К сожалению, к тому времени мы еще не сообщили в MPC результаты вычислений координат объекта на наших ПЗС-кадрах.

В настоящее время число астероидов Главного пояса с известными орбитами превышает 450 тысяч, причем только около половины из них имеют надежно определённые элементы орбит (так называемые нумерованные малые планеты). Положение нумерованного объекта на небе может быть рассчитано для любого момента времени. Ненумерованные астероиды имеют лишь так называемые предварительные орбиты, известные с большими ошибками элементов из-за малого числа наблюдений, положенных в их основу. Их положение на небесной сфере в некоторый момент времени, удаленный от времени наблюдений, как правило,

можно вычислить лишь со значительной неопределенностью. Именно поэтому быстрое отождествление нумерованного астероида часто бывает весьма затруднительным. Тем не менее в Пулковской обсерватории имеются программные средства и опыт выполнения работ по идентификации наблюдаемых малых тел Солнечной системы [2]. Многолетнее запаздывание в отождествлении астероида, зарегистрированного нами в декабре 1998 года, объясняется прежде всего тем, что повторные его наблюдения были выполнены лишь спустя 8 лет после наших. Если бы наши наблюдения были сообщены в MPC своевременно, возможно, отождествление наших наблюдений с небесным телом, наблюдавшимся в 2006 году, было бы выполнено в MPC уже в 2006 г., поскольку 6 наблюдений в том году позволили вычислить надёжную предварительную орбиту, на основе которой могло бы быть выполнено отождествление. Поскольку наши наблюдения остались неопубликованными, вопрос об их отождествлении пришлось решать нам. Ниже изложена методика этой работы.

## 2. МЕТОДИКА ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ АСТЕРОИДОВ

Методика отождествления малых планет, случайно зафиксированных в поле зрения телескопа, достаточно проста. На первом этапе надо вычислить положения всех астероидов, которые могли быть видимы в поле зрения в данный момент времени. Это предполагает наличие достаточно полного на данный момент каталога элементов орбит и программной системы для точного вычисления координат объектов на небесной сфере с учетом возмущений. Признаком идентичности наблюдаемого объекта с каталожным, для которого известна орбита, является совпадение наблюдаемых и вычисленных сферических координат в пределах точности наблюдений. Однако такое совпадение, как правило, имеет место в случае, когда за основу вычислений берётся орбита нумерованной малой планеты, имеющей надежные орбитальные элементы. Если для вычислений используется орбита нумерованной малой планеты, то вследствие ошибок элементов орбиты обычно не обнаруживается хорошего совпадения вычисленных и наблюдаемых координат. Для более уверенного отождествления в Пулково было предложено [3] использовать дополнительно сравнение эфемеридных значений [4]. Программная система скоростей изменения сферических координат с теми же величинами, полученными из обработки наблюдений. Каталоги элементов орбит астероидов доступны по Интернету на ЭПОС [5], разработанная в Пулковской обсерватории, может быть получена по запросу у авторов. Одна из опций этой программы

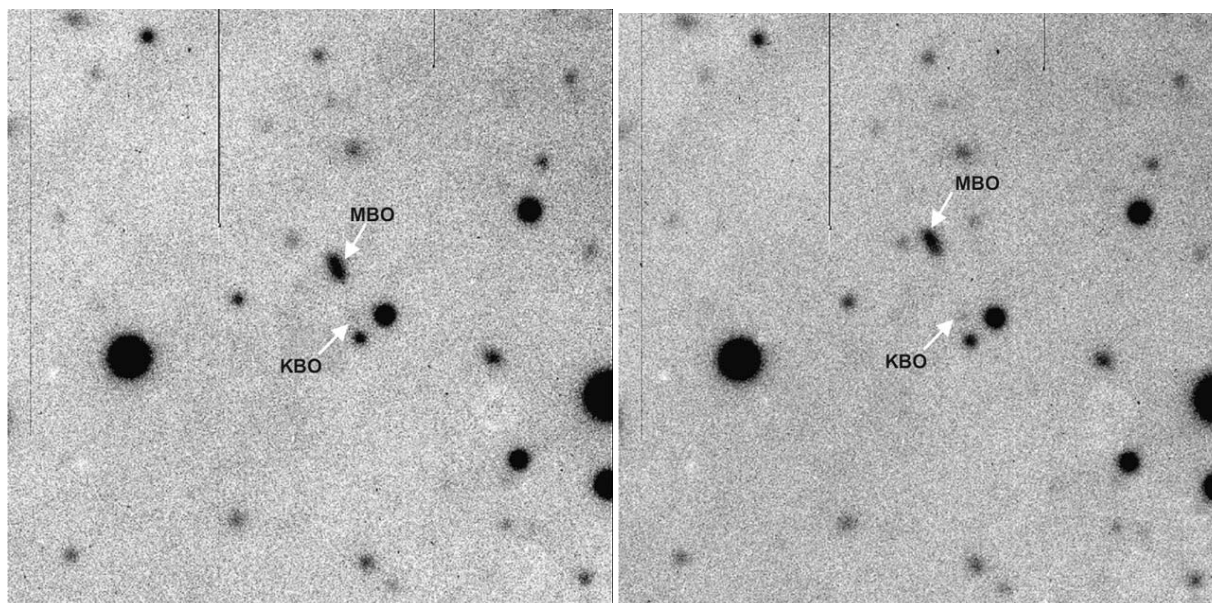
обеспечивает решение задачи отождествления малых планет.

В случае проведения идентификации наблюдаемого объекта с нумерованным астероидом важное значение имеет также близость элементов предварительных орбит наблюдаемого и каталожного тела. Эти элементы можно получить как из орбитальных каталогов, так и вычислением предварительной орбиты идентифицируемого объекта по имеющимся наблюдениям. В нашем случае получение эллиптической орбиты практически невозможно из-за недостаточного числа наблюдаемых положений и слишком малого временного интервала, но определение круговой орбиты вполне возможно. Новый метод вычисления круговой орбиты небесного тела по его положению, угловой скорости и ее позиционному углу [6] был разработан в Пулковской обсерватории и успешно применен, в частности, для решения идентификационных задач.

Завершающим этапом отождествления двух небесных тел, когда кандидаты на отождествление уже подобраны, является уточнение орбиты по всем имеющимся наблюдениям обоих тел. Если объединение двух массивов наблюдений дает по каждой из координат невязки (О-С), сравнимые с точностью выполненных наблюдений, то процесс отождествления можно считать завершенным. Новая улучшенная орбита помещается в каталог орбитальных параметров под единым обозначением, наблюдения объекта в каталоге пополняются новыми положениями и им присваивается общее наименование. В случае, когда такой пары из рассмотренных вариантов не образуется, то, возможно, наблюдаемый объект является новым. Для его отождествления надо либо ждать новых наблюдений на других обсерваториях, либо самим продолжить наблюдения в последующие ночи для определения предварительной эллиптической орбиты. В нашем случае именно так и развивались события: для идентификации наших наблюдений 1996 года с астероидом 1996 TW59 пришлось ждать три месяца, а новые наблюдения объекта 1998 года появились только через 8 лет.

## 3. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

На рисунке представлены два последовательных ПЗС-кадра с изображениями звезд и наблюдаемых малых планет. Поле зрения составило  $2' \times 2'$ . Астероид 1994 VK8, который являлся программным объектом (он обозначен стрелкой КВО — Kuiper Belt Object), практически на рисунке не воспроизвелся, однако объект Главного пояса (стрелка МВО — Main Belt Object) хорошо заметен. Оба кадра были получены в одну ночь 14 декабря 1998 года с экспозицией 10 минут в фильтре R, интервал между кадрами равен примерно 3



**Рисунок.** Два последовательных ПЗС-кадра, на которых заметно перемещение объекта Главного пояса 2006 НО 153 (стрелка МВО).

**Таблица 1.** Вычисленные сферические координаты астероида и невязки полиномиальной аппроксимации

UTC	RA	O - C	DEC	O - C
C 1998 12 14.85411	$4^h 18^m 32.07^s$	-1.13	$+21^\circ 14' 39.0''$	-0.33
C 1998 12 14.85758	4 18 32.06	1.20	+21 14 38.9	0.10
C 1998 12 14.86105	4 18 31.92	1.58	+21 14 38.5	0.23
C 1998 12 14.86292	4 18 31.64	-1.28	+21 14 38.3	0.31
C 1998 12 14.86639	4 18 31.52	-0.60	+21 14 37.4	-0.07
C 1998 12 14.86986	4 18 31.41	0.23	+21 14 36.7	-0.24

**Таблица 2.** Элементы орбиты

Элементы	Элементы на эпоху 1998 12 14.86200	Улучшенные элементы на эпоху 2006.00
M	-242.9045	352.07845
w	-131.9202	136.96295
N	68.967 73.1834	72.91468
i	2.9810 3.22463	3.26866
e	0.00000 0.18338	0.17181
a	3.07160 3.06697	3.04854
u	12.6310 14.8247	129.04144

мин. За время экспозиции астероид Главного пояса сместился на небесной сфере, что отобразилось на ПЗС-кадрах соответствующими штрихами. Длина этих штрихов соответствует топоцентрической угловой скорости астероида, которая равна примерно  $0.5''/\text{мин}$ .

Была выполнена астрометрическая обработка кадров. В каждом кадре след астероида измерялся системой MIDAS путем наведения на концы штриха, которые соответствуют моментам открывания и закрывания затвора. Еще одно наведение выполнялось на середину изображения, при этом момент времени вычислялся как средний из двух ранее указанных. Таким образом, мы имели по три пары координат объекта в каждом кадре, что давало возможность оценить точность наблюдений. Измеренные прямоугольные координаты опорных звезд и определяемого астероида традиционными методами фотографической астрометрии преобразовывались в сферические. Координаты опорных звезд уточнялись по каталогу Паломарского обозрения.

В Табл. 1 представлены вычисленные нами сферические координаты астероида и невязки полиномиальной аппроксимации. По полученным координатам было определено нормальное место для среднего момента наблюдений 1998 12 14.86200:  $RA = 4\ 18\ 31.81 \pm 0.04$ ,  $DEC = +21^\circ\ 14'38.2' \pm 0.1''$  и первые производные  $dRA/dt = -47.62 \pm 7.01$ ,  $dDEC/dt = -2'31.3' \pm 22.2'$ . Видимая звездная величина астероида в фильтре R равна примерно 20. Скорости изменения координат получены в результате линейной аппроксимации каждой из них полиномами по степеням времени.

Анализ невязок (O-C) показывает, что измерения координат астероида выполнены с хорошей точностью, особенно по склонению, хотя его изображения были штриховыми.

Для области небесной сферы, в которой был обнаружен наш астероид, в радиусе 0.5 градуса на момент наблюдений были вычислены положения и скорости всех известных каталожных астероидов, как нумерованных, так и ненумерованных. Список этих объектов насчитывает более 300 объектов. Анализ списка показал, что среди отобранных каталожных объектов не нашлось ни одного, координаты которого были бы достаточно близки к наблюдаемым. Тем не менее, после анализа скоростей изменения координат были отобраны полтора десятка астероидов, у которых в сравнении с новым объектом невязки по положению были невелики, скорости изменения координат имели тот же порядок, а звездные величины сравниваемых объектов не сильно различались. Кроме того, принималась во внимание близость элементов орбит. В итоге из этого списка были выбраны несколько объектов

для проверки на тождественность с нашим астероидом по методу улучшения. Эта работа выполнена в ИПА РАН. Единственным подходящим объектом оказался астероид 2006 HO153.

В Табл. 2 даны предварительные элементы оскулирующей круговой орбиты, вычисленные нами по данным Табл.1. Во втором столбце Табл. 2 (слева) приведены элементы орбиты, вычисленные по наблюдениям на БТА в 1998 г. Там же (справа) представлены элементы орбиты каталожного объекта 2006 HO153 [4], вычисленные на эпоху наших наблюдений по программной системе ЭПОС. В последнем столбце приведены улучшенные элементы по двум сериям наблюдений. Как правило, круговые элементы не используются в эфемеридных вычислениях. Они пригодны в течение данной ночи наблюдений и здесь носят качественный, оценочный характер. Как можно заметить, элементы нашей круговой орбиты близки к каталожным, но их полного совпадения здесь ожидать не следует, поскольку астероид 2006 HO153 имеет большой эксцентриситет орбиты ( $e \sim 0.2$ ). Что касается несоответствия величины аргумента широты  $\omega$ , особенно в последнем столбце таблицы, то это объясняется различием эпохи определения элементов, достигающей здесь семи лет.

#### 4. УЛУЧШЕНИЕ ОРБИТЫ ПО ДВУМ ОППОЗИЦИЯМ

Суть метода улучшения состоит в том, что к принятым известным элементам орбиты вычисляются поправки, которые минимизируют невязки наблюдений — разности (O-C) между наблюдаемыми и вычисленными положениями астероида. Эта работа традиционна в небесной механике и требует учета возмущений при анализе движения улучшаемого объекта. В итоге выполнения процедуры улучшения получается новая система орбитальных элементов, представляющая взятые в обработку наблюдения с точностью до их ошибок. Если в число используемых при улучшении попадают наблюдения других объектов, то процесс улучшения не даёт ожидаемых результатов, т.е. часть или все наблюдения не ложатся на одну орбиту (величины (O-C) существенно превышают ошибки наблюдений). Это может служить критерием неоттождественности объектов.

В нашем случае имелось два ряда наблюдений, выполненных в 1998 и 2006 гг. Это не очень благоприятный случай, тем не менее наблюдения астероида 2006 HO153 и нашего объекта смогли быть представлены одной орбитой после процедуры улучшения. Ее элементы представлены в

Таблица 3. Итоговые невязки улучшенных наблюдений

UTS	RA	O-C	DEC	O-C	Code
1998 DEK 14.85411	4 <sup>h</sup> 18 <sup>m</sup> 32.07 <sup>s</sup>	-1.36	+21° 14' 39.0''	0.26	115
1998 DEK 14.85758	4 18 32.06	0.95	+21 14 38.9	0.43	115
1998 DEK 14.86105	4 18 31.92	1.44	+21 14 38.5	0.29	115
1998 DEK 14.86292	4 18 31.64	-1, 16	+21 14 38.3	0.24	115
1998 DEK 14.86639	4 18 31.52	-0.39	+21 14 37.4	-0.40	115
1998 DEK 14.86986	4 18 31.41	0.52	+21 14 36.7	-0.83	115
2006 APR 28.25736	15 41 28.42	-0.02	-17 29 04.4	0.07	807
2006 APR 28.31643	15 41 25.82	0.07	-17 28 59.7	0.01	807
2006 MAY 1.38600	15 39 12.10	-0.20	-17 24 53.3	0.00	695
2006 MAY 1.45876	15 39 08.70	-0.03	-17 24 47.2	-0.39	695
2006 MAY 2.29191	15 38 31.23	0.09	-17 23 35.1	0.04	695
2006 MAY 2.42180	15 38 25.02	0.09	-17 23 23.5	0.27	695

последнем столбце Табл. 2. Как можно заметить, после улучшения они не сильно изменились, что свидетельствует в пользу правильности выполненной процедуры улучшения. Табл. 3 представляет итоговые невязки (O-C), полученные по улучшенной системе элементов.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторы уверены, что любые ПЗС-наблюдения в прямом фокусе БТА, несмотря на малость поля зрения, должны своевременно анализироваться на наличие в кадрах подвижных объектов — астероидов Главного пояса и комет. Информация о слабых быстродвижущихся малых планетах очень важна для астрономии, особенно в связи с проблемой астероидной опасности. Кроме того, открытие новых объектов даст возможность астрономам САО накопить свой резерв малых тел Солнечной системы, которым в соответствии с правилами Международного астрономического союза присваиваются имена в честь первооткрывателей или присваиваются названия по представлению первооткрывателей.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны наблюдателям БТА С.Жарикову и Н.Тихонову за выполненные наблюдения, сотрудникам ГАО РАН В.Н.Львову и С.Д.Цекмейстер за помощь в вычислении по программной системе ЭПОС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К. Л. Масленников, О. П. Быков, Ю. Н. Гнедин и др., Письма в АЖ **24**, 180 (1998).
2. О. П. Быков, В. Н. Львов, С. Д. Цекмейстер и др., *Астрономический вестник* **43**, 517 (2009).
3. О. Р. Вуков and N. O. Komarova, In *Proceedings "Asteroids, Comets, Meteors"*, Berlin, Germany, 2002 (ESA Publ. Division, Noordwijk, 2002), p.417.
4. <http://lowell.edu/pub/elgb>
5. В. Н. Львов, Р. И. Смехачева, С. Д. Цекмейстер, *"Околоземная астрономия XXI века"*, Звенигород, Россия, 2001 (Геос, Москва, 2001), с. 235.
6. А. А. Киселев и О. П. Быков, *Астрон. ж.* **50**, 1298 (1973).

**ASTEROID IDENTIFICATION USING BTA IMAGES****O.P. Bykov, K.L. Maslennikov, Yu.A. Chernetenko**

We report the results of identification of the Main Belt asteroid 2006 HO 153 accidentally found during the observations of transneptunian objects in 1998. We briefly describe the technique of identification, where the use of change rates of spherical coordinates of the observed asteroid plays an important role.

Key words: *minor planets, asteroids: individual: 2006 HO 153*