

УДК 523.44; 520.8

## БАЗИСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ АСТЕРОИДОВ В 2017 ГОДУ

**Девяткин А. В., Горшанов Д. Л., Петрова С. Н., Башакова Е. А., Львов В. Н.,  
Цекмейстер С. Д., Русов С. А., Иванов А. В., Вершков А. Н., Мартюшева А. А.,  
Барабанов С. И., Ерофеев Д. В., Кохилова Г. И., Хамроев У. Х., Буриев А. М.**

BASELINE OBSERVATIONS OF POTENTIALLY HAZARDOUS ASTEROIDS IN 2017

Devyatkin A. V.<sup>\*</sup>, Gorshanov D. L.<sup>\*</sup>, Petrova S. N.<sup>\*</sup>, Bashakova E. A.<sup>\*</sup>, L'vov V. N.<sup>\*</sup>,  
Tsekmeister S. D.<sup>\*</sup>, Rusov S. A.<sup>\*</sup>, Ivanov A. V.<sup>\*</sup>, Vershkov A. N.<sup>\*</sup>, Martyusheva A. A.<sup>\*</sup>,  
Barabanov S. I.<sup>\*\*</sup>, Erofeev D. V.<sup>\*\*\*</sup>, Kokhirova G. I.<sup>\*\*\*\*</sup>, Khamroev U. Kh.<sup>\*\*\*\*</sup>, Buriev A. M.<sup>\*\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> The Central Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences at Pulkovo,  
St.-Petersburg, 196140, Russia

<sup>\*\*</sup> Zvenigorod Observatory of the Institute of Astronomy of RAS (INASAN), Zvenigorod,  
Moscow Region, 119017, Russia

<sup>\*\*\*</sup> Ussuriysk Astrophysical Observatory of the Far-Eastern Branch of the Russian  
Academy of Sciences, Gornotayevskoe, Ussuriiskii region, Primorsky krai, 692533, Russia

<sup>\*\*\*\*</sup> Institute of Astrophysics of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, Dushanbe,  
734042, Republic of Tajikistan  
e-mail: dengorsh@mail.ru

*Abstract.* In 2017, Pulkovo observatory organized two campaigns of baseline observations of two asteroids during their approaches to the Earth: 2014 JO25 (on April) and (418094) 2007 WV4 (on June). The goal of the campaigns was development of method of construction of precise asteroid orbits using short-time (1-2 hours) simultaneous observations from two observatories (triangulation method). Six observatories participated in the 2017 campaigns: Ussuriisk Astrophysics Observatory of RAS, Gissar and Sanglokh observatories of Institute of Astrophysics of

Девяткин Александр Вячеславович, д-р физ.-мат. наук, главный научный сотрудник, заведующий отделом позиционной астрономии Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: adev@gaorun.ru

Горшанов Денис Леонидович, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории наблюдательной астрометрии Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: dengorsh@mail.ru

Петрова Светлана Николаевна, младший научный сотрудник лаборатории наблюдательной астрометрии Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: stalkered@yandex.ru

Башакова Екатерина Александровна, младший научный сотрудник Лаборатории наблюдательной астрометрии Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: cheshirchik@mail.ru

Львов Виктор Николаевич, канд. физ.-мат. наук, заведующий сектором эфемеридного обеспечения Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: epos-gao@mail.ru

Цекмейстер Светлана Дмитриевна, старший научный сотрудник сектора эфемеридного обеспечения Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: epos-gao@mail.ru

Русов Сергей Александрович, старший лаборант лаборатории наблюдательной астрометрии Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: bloodcommander@ya.ru

Иванов Александр Вячеславович, вед. инж.-программист лаборатории наблюдательной астрометрии Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: silanty@inbox.ru

Вершков Андрей Николаевич, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник лаборатории динамики планет и малых тел Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: avershkov@mail.ru

Мартюшева Александра Андреевна, младший научный сотрудник лаборатории наблюдательной астрометрии Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН; e-mail: alex.mart13@gmail.com

Барабанов Сергей Иванович, канд. физ.-мат. наук, заведующий Звенигородской обсерваторией Института астрономии РАН (ИНАСАН); e-mail: sbarabanov@inasan.ru

Ерофеев Дмитрий Викторович, канд. физ.-мат. наук, ученый секретарь Уссурийской астрофизической обсерватории Дальневосточного отделения РАН; e-mail: dve\_08@mail.ru

Кохилова Гулчехра Исроиловна, чл.-корр. Академии наук Республики Таджикистан, д-р физ.-мат. наук, директор, ведущий научный сотрудник отдела межпланетных тел Института астрофизики Академии наук Республики Таджикистан; e-mail: Kokhirova2004@mail.ru

Хамроев Умеджон Ходжамкулович, научный сотрудник отдела межпланетных тел Института астрофизики Академии наук Республики Таджикистан; e-mail: umed-1982@mail.ru

Буриев Анварджон Махмадалиевич, научный сотрудник отдела физики комет и астероидов Института астрофизики Академии наук Республики Таджикистан (АН РТ); e-mail: anvar10@mail.ru

Tajikistan, Zvenigorod Observatory of Institute of Astronomy of RAS, Pulkovo Observatory of RAS, Mountain Astronomical Station of Pulkovo Observatory.

The orbit constructed with this method for 2014 JO25 asteroid is close to the orbit published on the MPC web-site that was constructed with more than 1.5 thousand observations of many observatories from 2011 to 2017.

The results of the campaigns show that given existing accuracy of astrometric measurements, simultaneous observations of two observatories during more than 1 hour and the parallax angle of more than 10 arcmin are needed to construct sufficiently precise orbit.

Also, the estimation of *BVRI* color indices of 2014 JO25 asteroid was made.

*Keywords:* asteroid-comet hazard, potentially hazardous asteroids, astrometry, photometry, base-line observations, celestial mechanics, orbit determination

## Введение

Пулковская обсерватория продолжает организацию кампаний по базисным наблюдениям потенциально опасных астероидов в периоды их тесных сближений с Землёй. Целью этой деятельности является отработка методики построения достаточно точных орбит астероидов по их кратковременным (1–2 ч.) наблюдениям, произведённым одновременно из разных обсерваторий. Такие наблюдения позволяют определять методом триангуляции мгновенные прямоугольные координаты и скорости объекта в гелиоцентрической системе координат, что даёт возможность строить точную орбиту по очень короткой дуге траектории.

Первая подобная кампания была организована в июне 2014 года обсерваторией Дрезденского университета (Lohrmann observatory) во время тесного сближения с Землёй астероида 2014 HQ124. Предложение её провести выдвинул профессор Э. Герлах (E. Gerlach) после того, как познакомился с концепцией стереоскопических наблюдений тел Солнечной системы в космическом проекте «Орбитальной звёздной стереоскопической обсерватории» (проект «Стереоскоп»), разрабатываемом под руководством сотрудника Пулковской обсерватории М.С. Чубея [1]. Предполагалось, что в кампании будут принимать участие обсерватории Германии, Австрии, Украины и России, и максимальная база наблюдений (расстояние между обсерваториями) составит около 2,3 тыс. км. Но из-за погодных условий в Европе принять участие в наблюдениях удалось только Обсерватории Киевского университета, Николаевской обсерватории и Горной астрономической станции Пулковской обсерватории (близ Кисловодска). Максимальная база составила всего лишь около 1,1 тыс. км. Однако после

анализа результатов наблюдений организаторы кампании пришли к выводу, что по таким наблюдениям возможно построение орбиты астероида, по точности сопоставимой с орбитой, построенной по многомесячным обычным наблюдениям [2].

В январе – феврале 2015 года во время тесного сближения с Землёй астероида (357439) 2004 BL86 Пулковской обсерваторией была организована кампания по его одновременным наблюдениям. В ней приняли участие 7 обсерваторий: Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, обсерватория ИСЗФ в Мондах (близ Иркутска), Алма-Атинская обсерватория, обсерватория Кубанского государственного университета (г. Краснодар), Горная астрономическая станция ГАО РАН, Пулковская обсерватория и обсерватория университета Валенсии (Испания). Максимальная база одновременных наблюдений составила около 6,8 тыс. км. После анализа результатов наблюдений был сделан вывод, что при существующих точностях позиционных измерений, выполняемых на телескопах, не являющихся астрометрическими астрографами, для уверенного построения орбиты астероида необходимы базисные наблюдения с параллактическим углом от 10–15 угловых минут и более. Предварительные результаты этой работы были опубликованы в статье [3].

В 2017 г. Пулковская обсерватория организовала ещё две кампании по базисным наблюдениям астероидов во время их тесных сближений с Землёй: в апреле — астероид 2014 JO25 и в июне — 2007 WV4.

## 1. Наблюдения и обработка

В наблюдениях 2017 г. приняли участие следующие 6 обсерваторий: Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН, Гис-

Таблица 1. Обсерватории и инструменты, участвовавшие в кампании базисных наблюдений астероидов в 2017 г.

Пункт Код MPC	Координаты	Телескоп	Апертура Фокус (мм)	Масштаб (" / pix)
Уссурийск С15	+43° 42' 132° 10'	GAS-250	250 748	3,3
Санглох 193	+38° 16' 69° 13'	Zeiss-1000	1000 13000	0,3
Гиссар 190	+38° 29' 68° 41'	A3T-8	700 2820	1,8
Кисловодск С20	+43° 45' 42° 40'	MTM-500M	500 4100	1,2
Звенигород 102	+55° 42' 36° 46'	Zeiss-600	600 7200	0,5
Пулково 084	+59° 46' 30° 20'	ЗА-320M	320 3200	1,8

сарская обсерватория и обсерватория Санглох Института астрофизики АН Республики Таджикистан, Звенигородская обсерватория Института астрономии РАН, Пулковская обсерватория, Горная астрономическая станция ГАО РАН. В табл. 1 приведены некоторые характеристики обсерваторий и инструментов, участвовавших в наблюдениях.

Для обеспечения одновременности наблюдений всех обсерваторий, широко расположенных по долготе, было предложено наблюдать астероид каждую ночь в единый промежуток времени продолжительностью в один час. В остальное время рекомендовалось продолжать ряды наблюдений астероида, насколько это позволяло наблюдательное расписание каждой обсерватории. Для попутного получения цветовых характеристик астероида было предложено часть наблюдений выполнять со сменой светофильтров широкополосной международной фотометрической системы *BVRI*, которыми оборудованы все инструменты.

Астероид 2014 JO25 является потенциально опасным ( $MOID = 0,0118$ ), принадлежит к группе аполлонцев и имеет сильно вытянутую орбиту (эксцентриситет  $e = 0,89$ ). 19-го апреля он подошёл к Земле почти на минимально возможное расстояние 1,8 млн. км. Наблюдения этого астероида в рамках кампании продолжались с 18-го по 25-е апреля. В них участвовали все шесть обсерваторий.

Астероид (418094) 2007 WV4 также потенциально опасный ( $MOID = 0,0174$ ) и принадлежит к аполлонцам. Момент его наибольшего сближения с Землёй (0,020 а.е.) пришёлся

на 1 июня. В период с 1-го по 5-е июня пронаблюдать его удалось трём обсерваториям: в Уссурийске, Кисловодске и Гиссаре.

Видимая скорость движения наблюдавшихся астероидов вблизи моментов их наибольшего сближения с Землёй достигала сотен угловых секунд в минуту, что сильно затрудняло как наблюдения, так и обработку.

Всего в двух наблюдательных кампаниях 2017 г. было получено более 13,5 тыс. ПЗС-кадров (включая калибровочные). Все кадры были переданы в Пулковскую обсерваторию, где была произведена их обработка.

Обработка наблюдений выполнялась с помощью программного пакета АПЕКС-II, разработанного в Пулковской обсерватории [4]. Программа выполняет калибровку кадров, выделение изображений звёзд и астероидов и отождествление звёзд с заданными каталогами. Астрометрическая редукация выполняется методами шести или восьми постоянных (в зависимости от числа отождествлённых звёзд); в качестве опорного астрометрического каталога использовался каталог UCAC-4. Фотометрическая редукация осуществлялась с опорой на инфракрасный обзор 2MASS; блеск звёзд в полосах *B*, *V*, *R*, *I* вычислялся из величин *J* и *K*, приведённых в каталоге 2MASS, в соответствии с коэффициентами трансформации, приведёнными в работе [5].

Величины средней точности определения экваториальных координат астероида 2014 JO25 обсерваториями, участвовавшими в наблюдательных кампаниях приведены в табл. 2.

Таблица 2. Средняя точность астрометрических наблюдений

Обсерватория	$\sigma_\alpha, ''$	$\sigma_\delta, ''$
Уссурийск (С15)	0,343	0,230
Гиссар (190)	0,124	0,293
Кисловодск (С20)	0,448	0,791
Звенигород (102)	0,406	0,617
Пулково (084)	0,410	0,632

## 2. Определение орбиты объекта из наземных квазисинхронных наблюдений

При ПЗС-наблюдениях астероида можно получить его топоцентрические прямые восхождения и склонения, основанные на точных координатах опорных звезд из современных звездных каталогов. Если иметь синхронные наблюдения объекта на двух обсерваториях с известными координатами, то из комбинации упомянутых величин можно получить прямоугольные гелиоцентрические координаты объекта на этот момент [6].

Пусть  $(\alpha_1^1, \delta_1^1)$ ,  $(\alpha_1^2, \delta_1^2)$ ,  $(\alpha_2^1, \delta_2^1)$ ,  $(\alpha_2^2, \delta_2^2)$  — величины прямого восхождения и склонения объекта, полученные на двух обсерваториях для двух моментов. Здесь верхний индекс соответствует первой и второй обсерваториям, а нижний — первому и второму моментам. Вычислим соответствующие направляющие косинусы

$$\begin{aligned} l_1^1 &= \cos \alpha_1^1 \cos \delta_1^1, \\ m_1^1 &= \sin \alpha_1^1 \cos \delta_1^1, \quad n_1^1 = \sin \delta_1^1, \\ l_2^1 &= \cos \alpha_2^1 \cos \delta_2^1, \\ m_2^1 &= \sin \alpha_2^1 \cos \delta_2^1, \quad n_2^1 = \sin \delta_2^1, \\ l_1^2 &= \cos \alpha_1^2 \cos \delta_1^2, \\ m_1^2 &= \sin \alpha_1^2 \cos \delta_1^2, \quad n_1^2 = \sin \delta_1^2, \\ l_2^2 &= \cos \alpha_2^2 \cos \delta_2^2, \\ m_2^2 &= \sin \alpha_2^2 \cos \delta_2^2, \quad n_2^2 = \sin \delta_2^2. \end{aligned}$$

Пусть  $(x^1, y^1, z^1)$ ,  $(x^2, y^2, z^2)$  — прямоугольные гелиоцентрические координаты первой и второй обсерваторий, которые можно вычислить для заданного момента времени, зная их геоцентрические координаты и положение центра Земли. Тогда прямоугольные гелиоцентрические координаты астероида  $(x_1, y_1, z_1)$  для первого момента вычисляются по формулам

$$x_1 = \frac{n_1^1 l_1^2 x^1 - n_1^2 l_1^1 x^2 - l_1^1 l_1^2 (z^1 - z^2)}{n_1^1 l_1^2 - n_1^2 l_1^1}, \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{l_1^1 m_1^2 y^1 - l_1^2 m_1^1 y^2 - m_1^1 m_1^2 (x^1 - x^2)}{l_1^1 m_1^2 - l_1^2 m_1^1}, \\ z_1 &= \frac{m_1^1 n_1^2 z^1 - m_1^2 n_1^1 z^2 - n_1^1 n_1^2 (y^1 - y^2)}{m_1^1 n_1^2 - m_1^2 n_1^1}. \end{aligned}$$

При вычислении координат объекта  $(x_2, y_2, z_2)$  для второго момента нужно в формулах (2.1) заменить нижний индекс на двойку. Т.о., имеем для двух близких моментов  $t_1$  и  $t_2$  два вектора. Используя линейные формулы, для среднего момента  $t_0 = (t_1 + t_2)/2$  получим векторы гелиоцентрических координат и скоростей объекта по формулам

$$\begin{aligned} x_0 &= (x_1 + x_2)/2, \\ y_0 &= (y_1 + y_2)/2, \\ z_0 &= (z_1 + z_2)/2, \\ \dot{x}_0 &= (x_2 - x_1)/(t_2 - t_1), \\ \dot{y}_0 &= (y_2 - y_1)/(t_2 - t_1), \\ \dot{z}_0 &= (z_2 - z_1)/(t_2 - t_1). \end{aligned} \quad (2.2)$$

Имея на заданный момент эти два вектора, стандартным методом [7] получаем элементы оскулирующей орбиты, которые затем можно перевести на заданную эпоху.

Поскольку синхронизировать наблюдения практически невозможно, следует действовать следующим образом. На каждой обсерватории получаем плотный ряд наблюдений в интервале времени общей видимости объекта. При достаточной точности наблюдений величины прямого восхождения и склонения на отмеченном интервале времени можно аппроксимировать полиномами невысокой степени, чтобы затем получить нужные величины на любой момент времени внутри выбранного интервала.

Выберем некоторый фиксированный интервал (например, 5 мин.) и вычислим с помощью упомянутых полиномов величины экваториальных координат объекта. Далее, используя формулы (2.1) и (2.2), получим векторы прямоугольных гелиоцентрических координат и скоростей на средний из двух выбранных моментов. Если проделать эту процедуру

Таблица 3. Элементы орбиты астероида 2014 JO25 на эпоху JD2458000,5, опубликованные на сайте MPC, а также полученные на основе базисных наблюдений двух пар обсерваторий

	$M$	$\omega$	$\Omega$	$i$	$e$	$a$
MPC	58,7888	49,5713	30,6528	25,2699	0,885433	2,0682656
C20–C15	59,1440	49,8111	30,6393	25,5186	0,883973	2,0607208
190–C15	63,7368	59,1654	30,6582	24,6433	0,836446	1,9833417

с шагом по времени 1–2 мин. в границах упомянутого общего интервала видимости, то можно определить множество орбит. Далее, вычисляя величину  $rms$  среднего квадратического отклонения (корень квадратный из суммы квадратов невязок по прямому восхождению и склонению, деленной на число наблюдений) можно проверить, насколько хорошо каждый набор элементов воспроизводит наблюдения. Тот набор, который дает минимальную величину внутри интервала, принимается за искомый. Далее можно в известных пределах варьировать величину интервала времени между двумя наблюдениями, и здесь искать минимум.

Идеальная картина, представленная формулами (2.1) и (2.2), в реальности нуждается в некотором уточнении. Во-первых, следует ввести поправку за световой промежуток в вектор гелиоцентрических координат объекта. Во-вторых, при существенно нелинейном движении объекта нужно также вводить дополнительные поправки. Чем больше скорость объекта и чем более нелинейно его движение, тем менее уверенным получается результат.

С другой стороны, база должна обеспечивать достаточно большой параллактический угол (более нескольких минут дуги, лучше 10–15). Чем точнее наблюдения, тем меньшая величина этого угла допускается.

Интервал времени общей видимости должен быть достаточно большой (порядка часа), а точность наблюдений на двух обсерваториях должна быть сравнима. При невыполнении этих условий иногда даже очень точные наблюдения не могут быть использованы.

В качестве образца для сравнения мы использовали орбиту, опубликованную на сайте Международного центра малых планет (MPC) и построенную по более чем полутора тысячам наблюдений, выполненных на различных обсерваториях мира с 2011 по 2017 гг. Её элементы указаны в первой строке табл. 3.

Лучшие результаты получены из квази-синхронных наблюдений астероида 2014 JO25 обсерваторий C20 (Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск) и C15 (Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН). Длина базы составила 6 491 км, а максимальный параллактический угол —  $11',8$ . На рис. 1 представлена конфигурация явления (белая линия — база, чёрная — геоцентрическая проекция траектории астероида на земную поверхность), а на рис. 2 — данные по прямому восхождению (ось абсцисс) и по склонению (ось ординат). Здесь на полиномы (сплошные линии на правой панели) наложены отдельные отрезки наблюдательных данных. Вычисленные по этим наблюдениям элементы орбиты приведены во второй строке табл. 3.

Хуже получился результат для пары обсерваторий C15 (Уссурийск) — 190 (Гиссар) с длиной базы 5 082 км и параллактическим углом  $8',6$ , приведённый в третьей строке табл. 3.

Из трёх обсерваторий, наблюдавших астероид (418094) 2007 WV4, только две из них выполнили наблюдения одновременно (из-за погодных условий). Причём промежуток времени общих наблюдений был очень короткий — около получаса. По этой причине вычислить орбиту достаточной точности не удалось. На рис. 3 приведена небесная траектория астероида 2007 WV4, построенная по этим наблюдениям (наблюдённые положения и аппроксимация полиномами).

Таким образом, можно заключить, что для вновь открытого объекта этот метод при существующих точностях астрометрических измерений может дать хорошую первоначальную орбиту за короткий (от 1 ч.) промежуток времени наблюдений при величине параллактического угла от  $10'$  и более. Моделирование процесса базисных наблюдений показало, что улучшение точности астрометрических наблюдений примерно на порядок позволит

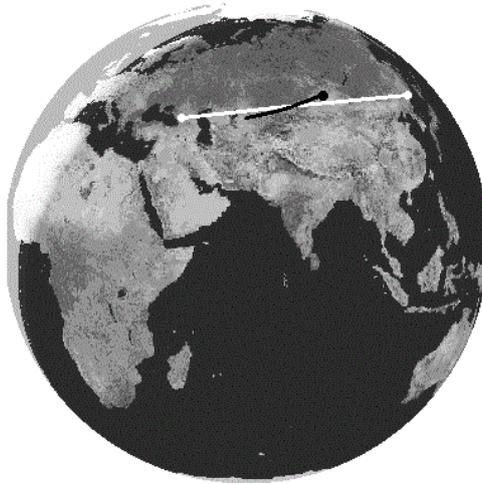


Рис. 1. Конфигурация наблюдений астероида 2014 JO25 из обсерваторий С15 (Уссурийск) и С20 (Кисловодск)

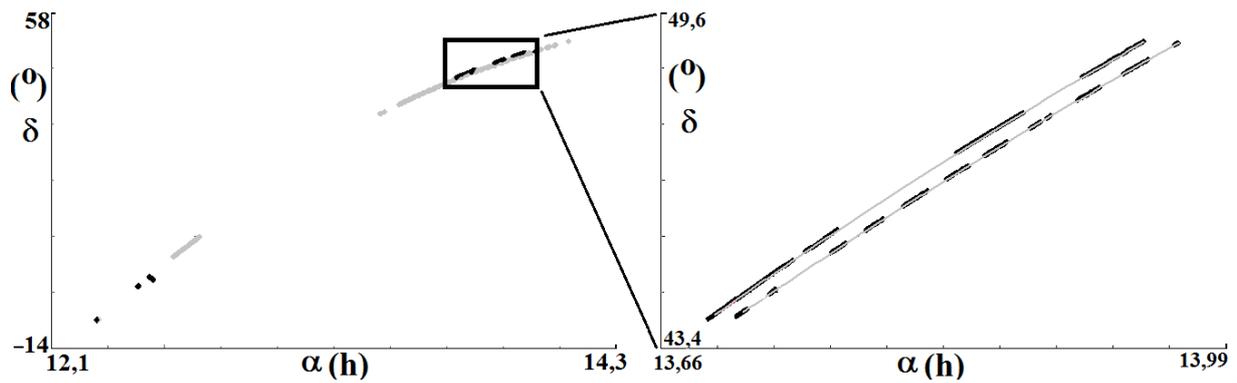


Рис. 2. Траектория астероида 2014 JO25, изображённая в экваториальных координатах, полученных из наблюдений обсерваторий С15 (Уссурийск) и С20 (Кисловодск): наблюдения с 19 по 23 апреля 2017 г. (слева), наблюдения 19 апреля в увеличенном масштабе (справа)

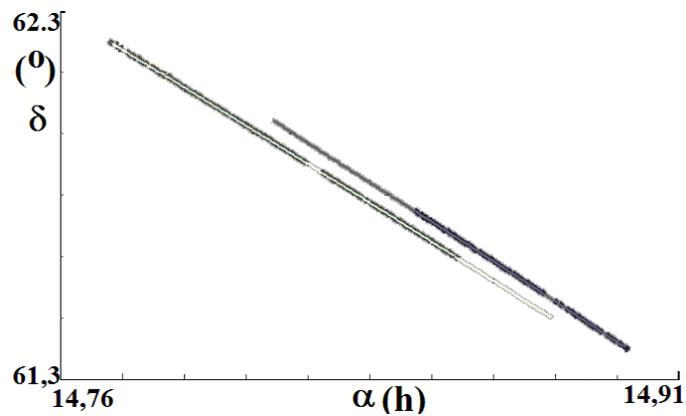


Рис. 3. Траектория астероида (418094) 2007 WV4, изображённая в экваториальных координатах, полученных из наблюдений обсерваторий С15 (Уссурийск) и 190 (Гиссар) 4 июня 2017 г.

Таблица 4. Инструментальные показатели цвета астероида 2014 JO25, полученные на обсерваториях 102, 190, 193

Пункт	Дата	$B - V$		$V - R$		$R - I$	
Звенигород	2017-04-20	0,87	0,03	0,45	0,05	0,26	0,04
Санглох	2017-04-23	0,61	0,06	0,65	0,14	0,36	0,01
	2017-04-25	0,77	0,01	0,45	0,04	0,17	0,07
Гиссар	2017-04-23	0,78	0,01	0,44	0,01	0,34	0,02
	2017-04-24	0,76	0,05	0,39	0,02	0,29	0,03
	2017-04-25	0,76	0,03	0,41	0,02	0,32	0,03

уменьшить величину необходимого угла примерно до трёх угловых минут.

### 3. Определение показателей цвета

На нескольких обсерваториях астероид 2014 JO25 наблюдался со светофильтрами международной широкополосной фотометрической системы  $BVRI$ . Это позволило сделать для него оценки показателей цвета  $B-V$ ,  $V-R$ ,  $R-I$ . По-видимому, из-за быстрого движения астероида по небу в период наблюдений точность фотометрии получилась невысокой. Кроме того, не все обсерватории провели определение коэффициентов трансформации инструментальных цветовых систем своих телескопов в стандартную.

В табл. 4 приведены показатели цвета астероида, полученные из наблюдений нескольких обсерваторий с 20 по 25 апреля 2017 г., в инструментальной фотометрической системе каждого телескопа, а также оценки их ошибок. Здесь удовлетворительную сходимость результатов, полученных в разные ночи, показывают наблюдения Гиссарской обсерватории.

В статье [8] приводится таблица соответствия показателей цвета в системе  $BVRI$  с таксономической классификацией астероидов по Д. Толену. Сопоставляя с этой таблицей полученные в настоящей работе показатели цвета, можно сделать предположение о принадлежности астероида 2014 JO25 к классам G, V или Q.

### Выводы

Проведены кампании по квазисинхронным базисным наблюдениям потенциально опасных астероидов 2014 JO25 и (418094) 2007 WV4 с целью определения их положений триангуляционным методом и построения их орбит на основе короткого промежутка наблюдений.

Для астероида 2014 JO25 удалось этим методом построить орбиту, сравнимую по точности с орбитой, опубликованной MPC. В результате проведённого исследования показано, что при имеющейся точности астрометрических наблюдений для построения орбиты параллактический угол должен составлять не менее 10 угловых минут, а продолжительность совместных наблюдений двух обсерваторий должна быть не менее одного часа.

Сделана оценка показателей цвета астероида 2014 JO25 в широкополосной системе  $BVRI$ .

### Литература

1. Chubey M.S., Yagudin L.I., L'vov V.N., Tsekmejster S.D., Koupryanov V.V., Eroshkin G.I., Smirnov E.A., Petrov A.V. Solving of the ACH Problem in the Project "Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory" // "Protecting the Earth against Collisions with Asteroids and Comet Nuclei", Proc. of the International Conference "Asteroid-Comet Hazard 2009" / eds. A.M. Finkelstein, W.F. Huebner, V.A. Shor. St.-Petersburg: Nauka, 2010. P. 110.
2. Eggl S., Ivantsov A., Gerlach E., Bottinger S., Thuillot W., Baransky A., Devyatkin A.V., Bashakova E.A., Rusov S.A., Gorshakov D.L., Shulga O.V., Sybiryakova Y., Kozyryev Y., Kulichenko N., Vovk V. Gaia-FUN-SSO: Triangulation Observations of 2014 HQ124. Proc. of "GAIA FUN SSO 2014" Workshop (24–26 Nov. 2014, IMCCE, Paris, France). 2015. P. 71–75.
3. Devyatkin A.V., Горшанов Д.Л., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д., Чубей М.С. Астрометрические базисные наблюдения тел Солнечной системы // Кинематика и физика небесных тел. 2016. Т. 32. № 5. С. 45–51.
4. Devyatkin A.V., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В., Верещагина И.А. Программные пакеты "АПЕКС-Г" и "АПЕКС-П" для обработки астрономических ПЗС-наблюдений // Астрономический вестник, № 1. 2010. С. 74–87.

5. Warner B.D. Initial Results from a Dedicated H-G Project // *Minor Planet Bulletin*. 2007. Vol. 34. No. 4. P. 113–119.
6. Чубей М.С., Львов В.Н., Ягудин Л.И. Оценка точности астрометрических измерений в условиях космической стереоскопической обсерватории. В сб.: Четвертые Поляховские Чтения. Избранные труды. СПб. Изд-во “ВВМ”. 2006. С. 288–295.
7. Справочное руководство по небесной механике и астродинамике / ред. Г.Н. Дубошин. М.: Наука, 1971. С. 210.
8. Dandy C.L., Fitzsimmons A., Collander-Brown S.J. Optical colors of 56 near-Earth objects: trends with size and orbit // *Icarus*. 2003. V. 163. P. 363–373.
3. Devyatkin A.V., Gorshanov D.L., L’vov V.N., Tsekmeister S.D., Chubey M.S. Astrometric Baseline Observations of Solar System Bodies. *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, 2016, vol. 32, no. 5, pp. 241–244.
4. Devyatkin A.V., Gorshanov D.L., Kouprianov V.V., Verestchagina I.A. Apex I and Apex II software packages for the reduction of astronomical CCD observations. *Solar System Research*, 2010, vol. 44, no. 1, pp. 68–80.
5. Warner B.D. Initial Results from a Dedicated H-G Project. *Minor Planet Bulletin*, 2007, vol. 34, no. 4, pp. 113–119.
6. Chubey M.S., L’vov V.N., Yagudin L.I. Otsenka tochnosti astrometricheskikh izmereniy v usloviyakh kosmicheskoy stereskopicheskoy obsektorii (Accuracy estimation of astrometric measurements in conditions of space stereoscopic observatory). IV Polykhovskie Chteniya. Izbrannye trudy (*Selected works of IV Polyakhov’s Readings*), St-Petersburg, “VVM”, 2006, pp. 288–295. (In Russian)
7. Duboshin G.N. (ed.) *Spravochnoe rukovodstvo po nebesnoy mekhanike i astrodinamike* (Reference manual on celestial mechanics and stellar dynamics). Moscow, Nauka, 1971, p. 210. (In Russian)
8. Dandy C.L., Fitzsimmons A., Collander-Brown S.J. Optical colors of 56 near-Earth objects: trends with size and orbit. *Icarus*, 2003, vol. 163, pp. 363–373.

### References

1. Chubey M.S., Yagudin L.I., L’vov V.N., Tsekmeister S.D., Kouprianov V.V., Eroshkin G.I., Smirnov E.A., Petrov A.V. Solving of the ACH Problem in the Project “Interplanetary Solar Stereoscopic Observatory”. In: Finkelstein A.M., Huebner W.F., Shor V.A. (eds.) “*Protecting the Earth against Collisions with Asteroids and Comet Nuclei*”. *Proc. of the International Conference “Asteroid-Comet Hazard 2009”*. St.-Petersburg, Nauka Pub., 2010, p. 110.
2. Eggl S., Ivantsov A., Gerlach E., Bottinger S., Thuillot W., Baransky A., Devyatkin A.V., Bashakova E.A., Rusov S.A., Gorshanov D.L., Shulga O.V., Sybiryakova Y., Kozyryev Y., Kulichenko N., Vovk V. In: *Gaia-FUN-SSO: Triangulation Observations of 2014 HQ124. Proc.*

© Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, 2017

© Девяткин А. В., Горшанов Д. Л., Петрова С. Н., Башакова Е. А., Львов В. Н., Цекмейстер С. Д., Русов С. А., Иванов А. В., Вершков А. Н., Мартюшева А. А., Барабанов С. И., Ерофеев Д. В., Кохинова Г. И., Хамроев У. Х., Буриев А. М., 2017

Статья поступила 31 октября 2017 г.