

УДК 523.44

Результаты координатных наблюдений астероидов, сближающихся с Землей, с использованием комбинированного метода наблюдений

Е.С. Сибирякова, Е.С. Козырев, А.В. Шульга

НИИ “Николаевская астрономическая обсерватория”, ул. Обсерваторная, 1, Николаев, Украина, 54030
evg_sibir@mail.ru

Поступила в редакцию 1 ноября 2012 г.

Аннотация. Главной проблемой наблюдений астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), является высокая скорость видимого движения. В НИИ “НАО” данная проблема была решена применением комбинированного метода наблюдений с использованием режима работы ПЗС-матрицы time delay and integration и поворотной платформы. За 2008–2012 гг. в НИИ “НАО” было получено 1317 положений 74 АСЗ. Все наблюдения были получены с применением комбинированного метода. В статье представлено сравнение погрешности наблюдений НИИ “НАО” с результатами, полученными в других обсерваториях.

RESULTS OF POSITIONAL OBSERVATIONS OF NEAR EARTH OBJECTS USING THE COMBINED OBSERVATION METHOD, *by Ye.S. Sybiryakova, Ye.S. Kozryev, A.V. Shulga*. High apparent motion is the main problem of NEO observation. The solution of this problem proposed by RI NAO is the original combined observation method using time delay and integration mode and camera rotator. 1317 positions of 74 NEOs obtained at RI NAO in 2008–2012. All the observations were made using the combined observation method. Observation statistics and errors in comparison with results obtained at other observatories are presented in the paper.

Ключевые слова: астероиды, сближающиеся с Землей, комбинированный метод наблюдения, time delay and integration

1 Введение

По данным проекта Near Earth Objects – Dynamic Site (NEODyS) на май 2012 г. зарегистрировано 8893 астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Используя данные NEODyS по АСЗ, открытым в 2010 г., было построено распределение количества АСЗ по расстоянию от Земли в момент открытия. Оказалось, что из 870 АСЗ, открытых в 2010 г., 36 % были открыты на расстоянии менее 0.05 а. е. (рис. 1а). Высокий процент новых объектов, открываемых при сближении с Землей на расстояниях менее 0.05 а. е., связан с ростом блеска АСЗ, вследствие чего малоразмерные объекты становятся доступны для наблюдений. Для вычисления орбит АСЗ, а также оценки их опасности для Земли, необходимы массовые наблюдения новых объектов. Однако при сближении с Землей растет видимая скорость движения АСЗ (рис. 1б), что затрудняет проведение наблюдений таких объектов классическими методами.

С другой стороны, наблюдения АСЗ на минимальных расстояниях от Земли позволяют получать данные с высоким пространственным разрешением. То есть при одинаковой угловой погрешности наблюдений погрешность линейная становится меньше за счет сокращения расстояния до АСЗ.

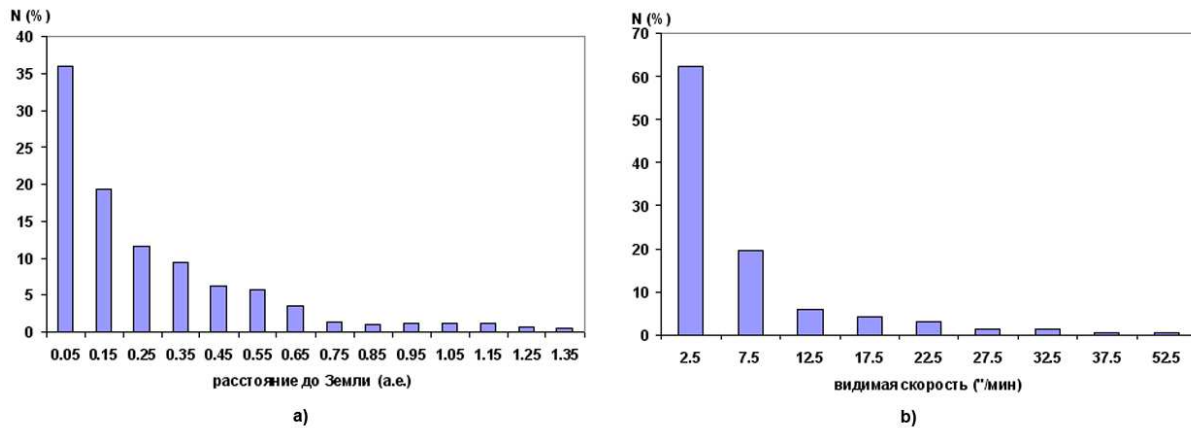


Рис. 1. Условия наблюдений АСЗ в момент открытия: а) распределение количества АСЗ по расстоянию от Земли, б) зависимость видимой скорости движения АСЗ от расстояния до Земли

2 Средства и метод наблюдения

При наблюдениях АСЗ классическим методом максимальная экспозиция рассчитывается с учетом скорости объекта, линейного размера пикселя и масштаба изображения:

$$t_0 = \frac{Md}{V}, \quad (1)$$

где M – масштаб изображения ("/микрон), d – линейный размер пикселя (микрон), V – скорость ("/мин). То есть чем меньше угловой размер пикселя и выше скорость объекта, тем меньше допустимая экспозиция, что приводит к уменьшению проникающей способности телескопа и повышению погрешности определения координат. Для компенсации скорости АСЗ в мире применяются достаточно сложные и дорогостоящие аппаратно-программные комплексы механического сопровождения АСЗ телескопом, при использовании которых экспозиция ограничена длиной штриха опорных звезд, внедряется в практику специализированное ПО для обработки вытянутых изображений, применяется увеличение бинирования при формировании изображения (Вадувеску и др., 2011).

В НИИ "НАО" наблюдения быстро движущихся объектов, таких как АСЗ и потенциально опасные астероиды (ПОА), проводятся комбинированным методом наблюдений (КМН) (Шульга и др., 2007), для реализации которого телескоп в процессе наблюдений остается неподвижным. Метод заключается в разделении процессов получения изображений объектов и опорных звезд. КМН реализован с применением режима работы ПЗС-камеры time delay and integration (TDI). Применение режима TDI позволяет осуществлять электронное сопровождение АСЗ с экспозицией, не превышающей время прохождения изображения объекта по ПЗС-матрице в фокальной плоскости телескопа. Обязательным условием применения TDI является установка столбцов ПЗС-матрицы параллельно направлению движения наблюдаемого объекта. Для этого в НИИ "НАО" разработано и применяется специальное устройство – поворотная платформа. Поворотная платформа обеспечивает поворот

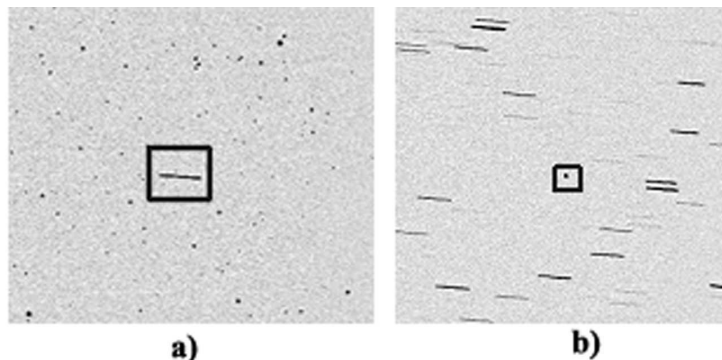


Рис. 2. Изображение АСЗ 2003UV11 при наблюдении: а) с суточным ведением в режиме накопления изображения ПЗС-камерой, б) на неподвижном телескопе в режиме TDI работы ПЗС-камеры

ПЗС-камеры вокруг оптической оси объектива и оснащена двигателем и абсолютным датчиком угла поворота. Для привязки координат объекта к системе опорных звезд используется модифицированная модель редукции наблюдений (Козырев и др., 2010).

Наблюдения АСЗ в НИИ “НАО” проводятся на двух телескопах: скоростном автоматическом комплексе (САК) ($D = 300$ мм, $F = 1500$ мм, поле зрения $1.4^\circ \times 1.4^\circ$, предельная звездная величина = 17) и телескопе КТ-50 ($D = 500$ мм, $F = 3000$ мм, поле зрения $0.7^\circ \times 0.7^\circ$, предельная звездная величина = 18.5) мобильного комплекса МОБИТЕЛ (Шульга и др., 2011). Телескопы оснащены ПЗС-камерами Arroyo Alta U9000 ($3k \times 3k$, размер пикселя 12μ). Оба телескопа полностью автоматизированы. Программное обеспечение для управления телескопами и автоматизации процесса наблюдений разработано в НИИ “НАО”.

Применение КМН позволяет получать точечные изображения как опорных звезд, так и АСЗ. На рис. 2 показано изображение, полученное в режиме TDI на неподвижном телескопе, в сравнении с изображением, полученным в режиме накопления с суточным ведением на примере АСЗ 2003UV11. Наблюдения выполнены 29 октября 2010 г. Видимая скорость АСЗ на момент наблюдений по прямому восхождению составляла $-134.3''/\text{мин}$, по склонению $-10.9''/\text{мин}$. Блеск объекта был равен 11.9^m . Наблюдения проводились на телескопе КТ-50 с экспозицией 50 с. В результате длина трека изображения АСЗ, полученного с применением суточного ведения, составила $123.67''$ (рис. 2а), что соответствует видимой скорости движения. При использовании режима TDI на неподвижном телескопе получено точечное изображение АСЗ (рис. 2б). Соотношение сигнал/шум изображения АСЗ при использовании режима TDI повысился в 9.8 раз по отношению к режиму накопления с суточным ведением.

3 Анализ результатов наблюдений

В НИИ “НАО” наблюдения АСЗ и ПОА с применением комбинированного метода были начаты в 2008 г. Всего за 2008–2012 гг. на телескопах САК и КТ-50 получено 1317 положений 74 АСЗ. Из них 19 потенциально опасных, 30 наблюдались в первой оппозиции. На телескопе САК за 2008–2010 гг. получено 178 положений пяти АСЗ 12.8 – 15.9^m с видимой скоростью на момент наблюдений $(15$ – $68.3)''/\text{мин}$. Введение в строй телескопа КТ-50 позволило существенно увеличить количество наблюдаемых АСЗ. На телескопе КТ-50 за 2010–2012 гг. получено 1139 положений 70 АСЗ 9.4 – 18.5^m с видимой скоростью на момент наблюдений $(0.5$ – $306.3)''/\text{мин}$. Наблюдения проводились на расстояниях 0.005 – 1.0 а. е. от Земли. На рис. 3 представлено сравнение распределений количества наблюдений АСЗ по расстоянию до Земли, выполненных в НИИ “НАО” и других обсерваториях. Для анализа использовались данные для 70 АСЗ за период 2010–2012 гг., полученные с сайта NEODyS.

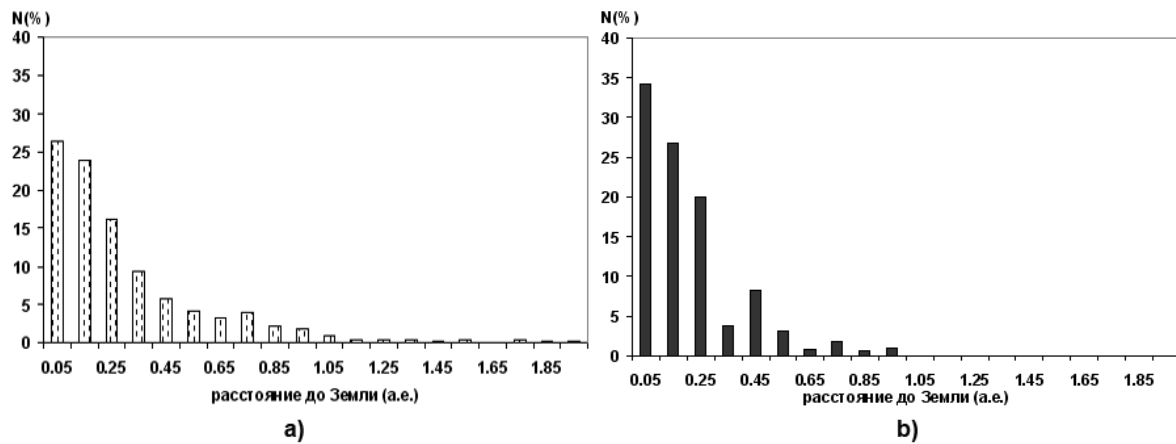


Рис. 3. Распределение количества положений АСЗ в зависимости от расстояния до Земли в момент наблюдения: а) для всех обсерваторий мира (в % от общего числа наблюдений), б) для НИИ “НАО” (в % от общего числа наблюдений НИИ “НАО”)

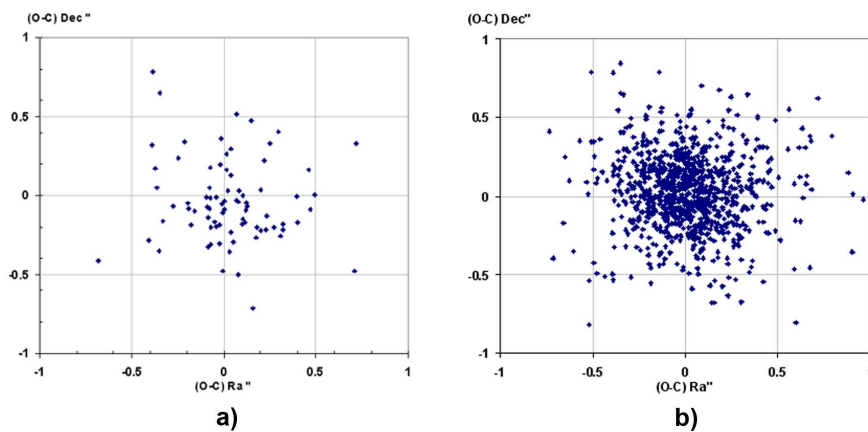


Рис. 4. Зависимость невязок по прямому восхождению от невязок по склонению для АСЗ, полученных на телескопе: а) САК, б) КТ-50

Как видно из рис. 3 порядка 26 % всех наблюдений АСЗ обсерваториями мира были получены в периоды сближений АСЗ с Землей на расстояние менее 0.1 а. е. В НИИ “НАО” наблюдения на таких расстояниях составляют порядка 35 %. Все результаты наблюдений, полученные в НИИ “НАО”, отправлены в Международный центр малых планет (Шульга и др., 2012). Значения средних невязок (О-С) по данным NEODyS и среднеквадратических погрешностей (СКП) для наблюдений АСЗ приведены в табл. 1 для данных наблюдений на телескопе САК, в табл. 2 – данные наблюдений АСЗ в первой оппозиции на телескопе КТ-50 за 2012 г., ПОА в таблицах выделены символом *). На рис. 4 представлены зависимости невязок (О-С) по прямому восхождению от (О-С) по склонению для наблюдений, полученных на телескопах САК и КТ-50.

Зависимость, представленная на рис. 3, показывает, что невязки наблюдений, полученных на телескопах НИИ “НАО”, находятся в пределах $\pm 1''$ и равномерно распределены относительно нуля, что указывает на отсутствие систематических ошибок в вычисленных положениях АСЗ. СКП наблюдений АСЗ, полученных в НИИ “НАО”, составляет для телескопа:

Таблица 1. Результаты наблюдений АСЗ на телескопе САК

| № | Имя | Скорость ("'/мин) | Звездная величина | Расстояние до Земли (а. е.) | К-во положений | Среднее | | СКП | |
|-------|-----------|----------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | | | α | δ | α | δ |
| 1 | 2008TT26 | 46.1 | 14.7 | 0.010 | 77 | 0.05 | -0.05 | 0.41 | 0.42 |
| 2 | 2008SV11* | 24.5 | 12.8 | 0.045 | 19 | -0.17 | 0.10 | 0.26 | 0.23 |
| 3 | 2005YU55* | 64.9 | 15.3 | 0.016 | 37 | 0.15 | -0.12 | 0.27 | 0.27 |
| 4 | 2010JO33 | 68.5 | 15.9 | 0.009 | 29 | -0.27 | -0.06 | 0.38 | 0.29 |
| 5 | 2010GU21* | 37.2 | 14.5 | 0.021 | 16 | 0.30 | -0.24 | 0.43 | 0.32 |
| Всего | | | | | 178 | | | | |

Таблица 2. Результаты наблюдений АСЗ в первой оппозиции на телескопе КТ-50 за 2012 г.

| № | Имя | Скорость ("'/мин) | Звездная величина | Расстояние до Земли (а. е.) | К-во положений | Среднее | | СКП | |
|-------|-----------|----------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | | | α | δ | α | δ |
| 1 | 2012AA11 | 8.1 | 16.0 | 0.08 | 24 | -0.04 | 0.19 | 0.18 | 0.32 |
| 2 | 2012BJ134 | 7.8 | 18.0 | 0.25 | 6 | 0.08 | 0.15 | 0.19 | 0.25 |
| 3 | 2012DH4 | 21 | 16.9 | 0.06 | 6 | -0.08 | 0.1 | 0.13 | 0.17 |
| 4 | 2012DO | 5.9 | 16.5 | 0.11 | 23 | -0.1 | -0.04 | 0.30 | 0.41 |
| 5 | 2012DX75* | 6.7 | 16.5 | 0.1 | 19 | 0.02 | -0.21 | 0.20 | 0.29 |
| 6 | 2012EK8 | 14.1 | 17.4 | 0.04 | 4 | -0.15 | 0.1 | 0.30 | 0.20 |
| 7 | 2012EO8 | 82.8 | 17.1 | 0.01 | 6 | 0.1 | 0.03 | 0.70 | 0.40 |
| 8 | 2012ES14 | 7.2 | 18.2 | 0.2 | 15 | -0.01 | 0.2 | 0.21 | 0.34 |
| 9 | 2012FQ35 | 15.5 | 18.3 | 0.04 | 8 | 0.22 | 0.17 | 0.40 | 0.37 |
| 10 | 2012FY23 | 10.9 | 17.1 | 0.09 | 35 | -0.08 | 0 | 0.19 | 0.25 |
| 11 | 2012GD2 | 33.1 | 17.3 | 0.05 | 4 | -0.01 | -0.25 | 0.26 | 0.33 |
| 12 | 2012HL | 7.2 | 18.5 | 0.08 | 9 | 0.04 | -0.25 | 0.25 | 0.41 |
| 13 | 2012HM | 46.3 | 15.7 | 0.01 | 19 | 0.19 | -0.1 | 0.33 | 0.20 |
| 14 | 2012HP13 | 174.7 | 15.8 | 0.01 | 20 | 0.33 | 0.24 | 0.37 | 0.30 |
| 15 | 2012LJ | 306.3 | 18.2 | 0.005 | 7 | -0.02 | 0.09 | 0.23 | 0.25 |
| Всего | | | | | 205 | | | | |

- САК $\pm(0.23-0.43)''$ для $(12.8 - 15.9)^m$
- КТ-50 $\pm(0.15-0.31)''$ для $(13.0 - 18.5)^m$.

Для сравнения погрешности наблюдений использовались невязки (О-С), полученные в других обсерваториях (данные получены с сайта NEODyS). В сравнении использовано 20034 положения 70 АСЗ. Расчет усредненной погрешности проводился с шагом в 0.1 а. е. На рис. 5 представлена зависимость СКП определения положений АСЗ от расстояния до Земли по данным наблюдений НИИ “НАО” и других обсерваторий. Исходя из рис. 5 можно сделать вывод о том, что погрешность наблюдений НИИ “НАО” ниже усредненной погрешности прочих обсерваторий.

4 Выводы

Специфические условия наблюдений АСЗ, а именно большая видимая скорость в момент сближения с Землей, требуют применения светосильных телескопов, либо разработки новых методов наблюдений с использованием режимов электронного сопровождения в современных ПЗС-камерах.

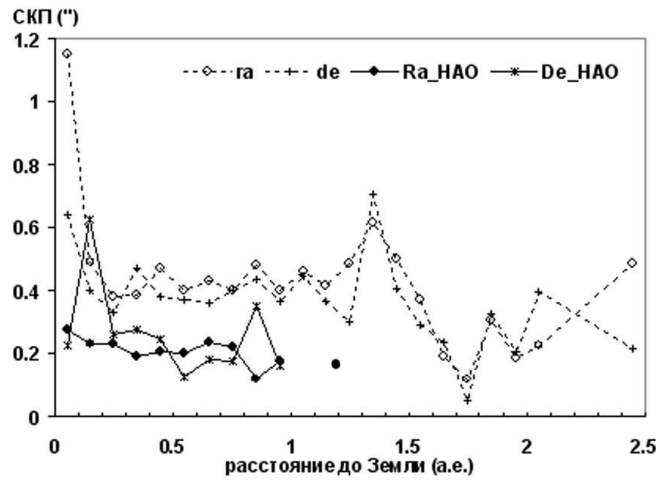


Рис. 5. Зависимость СКП АСЗ от расстояния до Земли в момент наблюдения

В НИИ “НАО” разработан комбинированный метод наблюдений, который успешно внедрен на телескопах обсерватории и применяется для наблюдений АСЗ, в том числе и потенциально опасных, в период их максимального сближения с Землей. За 2008–2012 гг. с использованием КМН получено 1317 положений 74 АСЗ с видимой скоростью в момент наблюдений $(0.5\text{--}306.3)''/\text{мин}$.

Невязки наблюдений, которые согласно данным NEODyS находятся в пределах $\pm 1''$ говорят об эффективности и перспективности применения КМН для наблюдения АСЗ.

Литература

- Вадувеску и др. (Vaduvescu O., Birlan M., Tudorica A., et al.) // Planetary and Space Science. 2011. V. 59. P. 1632.
- Козырев и др. (Kozyryev Ye., Shulga A., Sybiryakova Ye.) // Космічна наука і технологія. 2010. V. 16. № 5. P. 71.
- Шульга и др. (Shulga A., Kozyryev Ye., Sybiryakova Ye.) // A Giant Step: From Milli- to Micro-arcsecond Astrometry. IAU Symp. N. 248./ Eds Jin W.J., Platais I., Perryman M.A.C. Cambridge University Press. 2007. P. 128.
- Шульга и др. (Shulga A., Kozyryev Ye., Sybiryakova Ye.) // Proc. of Gaia follow-up network for solar system objects workshop held at IMCCE- Paris observatory. 2011. P. 97.
- Шульга и др. (Shulga A.V., Sybiryakova Ye., Kozyryev Ye., Kulichenko N., Vovk V.) // Minor Planet Circular 79112 (2012), 78723 (2012).
- NEODyS (NEODyS) // <http://newton.dm.unipi.it/neodys/>