

УДК 523.44

**В. С. Вовк, Н. А. Куличенко, Е. С. Козырев,
Е. С. Сибирякова, А. В. Шульга**

Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория»
ул. Обсерваторная 1, Николаев, 54030
e-mail: evg_sibir@mail.ru

**Наблюдения малых астероидов, сближающихся с
Землей, и в условиях малой солнечной элонгации**

Представлены результаты наблюдений малоразмерных (диаметром до 140 м) астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), и наблюдений АСЗ в условиях малой солнечной элонгации. Все результаты получены в НИИ «Николаевская астрономическая обсерватория» с применением комбинированного метода наблюдений и режима работы ПЗС-камеры «time delay and integration».

СПОСТЕРЕЖЕННЯ МАЛИХ АСТЕРОЇДІВ, ЩО ЗБЛИЖУЮТЬСЯ ІЗ ЗЕМЛЕЮ, ТА В УМОВАХ МАЛОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛОНГАЦІЇ, Вовк В. С., Куличенко М. О., Козырев Є. С., Сибирякова Є. С., Шульга О. В. — Представлено результати спостережень малорозмірних (діаметром до 140 м) астероїдів, що зближуються із Землею (АЗЗ) та АЗЗ, які спостерігалися в умовах малої сонячної елонгації. Всі результати отримані в НДІ «Миколаївська астрономічна обсерваторія» з використанням комбінованого методу спостережень та режиму роботи ПЗЗ-камери «time delay and integration».

OBSERVATIONS OF SMALL AND LOW ELONGATION NEAR EARTH ASTEROIDS, by Vovk V. S., Kulichenko M. O., Kozyrev E. S., Sybiriakova E. S., Shulga O. V. — We present some results of observations of small near Earth asteroids (NEAs) and NEAs observed in low solar elongation. All the results are obtained in the Research Institute «Nikolaev Astronomical Observatory» with the use of the combined observation method and time delay and integration operation mode of CCD.

Введение. В последние годы все больший интерес представляют поиск и наблюдения малоразмерных астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Малоразмерные АСЗ могут представлять угрозу для населенных пунктов, что подтверждено на примере падения Челябинского метеорита, в результате которого люди получили травмы, были повреждены здания [5]. Малоразмерные АСЗ (диаметром менее 140 м) являются наименее изученными малыми телами Солнечной системы, в силу того что могут быть зарегистрированы только в периоды сближения с Землей. По данным Международного астрономического союза на октябрь 2013 г. найдено [<http://www.iau.org/public/themes/neo/nea3/>]:

- 861 АСЗ диаметром более 1000 м, включая 155 потенциально опасных астероидов (ПОА) (предполагаемое количество АСЗ такого размера — 966 ± 45);
- 5784 АСЗ диаметром более 140 м, включая 1424 ПОА (предполагаемое количество — порядка 5000);
- 6448 АСЗ диаметром более 100 м (предполагаемое количество 20000);
- 8398 АСЗ диаметром более 40 м (предполагаемое количество 300000).

Зачастую малоразмерные АСЗ считаются потерянными, так как малая дуга наблюдений не позволяет вычислить орбиты с необходимой точностью.

Наблюдения АСЗ в условиях малой солнечной элонгации необходимы для увеличения дуги наблюдений и, как следствие, улучшения точности определения элементов орбит АСЗ.

По данным проекта NEODyS [<http://newton.dm.unipi.it/neodyS/>], который направлен на сбор наблюдений АСЗ, была отобрана информация по количеству наблюдений АСЗ, проведенных в обсерваториях Украины. В табл. 1 приведены: код обсерватории, годы наблюдений,

Таблица 1. Данные о наблюдениях астероидов, сближающихся с Землей, полученных в обсерваториях Украины

Код пункта наблюдений	Годы наблюдений	Количество положений		
		Всего	За последние 10 лет	
61	Ужгород	1975	16	0
67	Обсерватория Львовского университета	1921	1	0
83	Голосив (Киев)	2012	89	89
85	Киев	1949 — 1975	12	0
89	Николаев	1975 — 2014	4116	4046
94	Симеиз, Крым	1928 — 2014	440	372
95	Научный, Крым	1967 — 2013	1266	604
121	Харьковский университет, Чугуевская станция	1996 — 2013	559	96
583	Одесса, Маяки	2009 — 2014	719	719
585	Киевская кометная станция	1975 — 2014	1617	1563
A50	Андрушевская обсерватория	2002 — 2013	2520	1854
B17	A3T-8, Евпатория	2009 — 2013	837	837

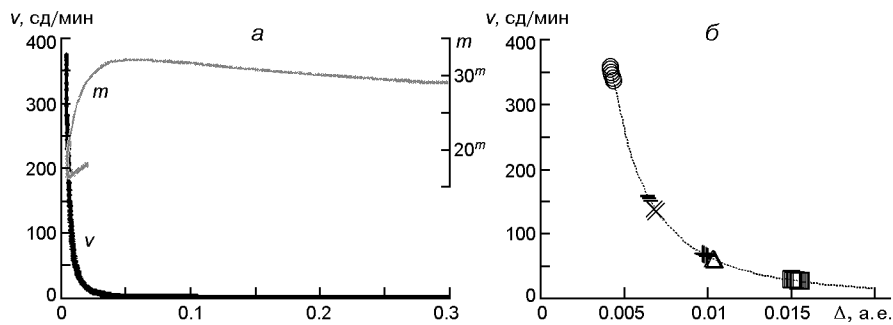


Рис. 1. Условия (а) и результаты наблюдений (б) астероидов, сближающихся с Землей 2012 LJ

количество положений АСЗ, полученных за все время наблюдений и за последние 10 лет.

Как видно, НИИ НАО занимает лидирующее положение по наблюдениям АСЗ в Украине. За период 2008—2014 гг. в НИИ НАО получено 4046 положений АСЗ с использованием комбинированного метода наблюдений и режима работы ПЗС-камеры «time delay and integration». Для наблюдений выбирались потенциально опасные быстро движущиеся малоразмерные АСЗ, а также АСЗ в условиях малой элонгации и кандидаты в АСЗ.

Условия наблюдения малоразмерных астероидов, сближающихся с Землей. Условия наблюдения малоразмерных АСЗ можно рассмотреть на примере АСЗ 2012LJ (диаметр 20—50 м). При сближении на расстояние менее 0.05 а. е. увеличивается блеск АСЗ, но также увеличивается скорость видимого движения (рис. 1, а). Астероид был открыт 9 июня 2012 г. на расстоянии 0.016 а. е. С момента открытия астероид был доступен для наблюдений двое суток, на третьи сутки блеск АСЗ уменьшился до 24^m . Наблюдения АСЗ были проведены в шести обсерваториях мира (см. табл. 2). На рис. 1, б пунктирной линией представлена зависимость скорости наблюдений от расстояния до Земли для АСЗ 2012 LJ, знаками отмечены моменты наблюдений в разных обсерваториях (данные взяты с сайта проекта NEODyS [<http://newton.dm.unipi.it/neodys/>]). Названия обсерваторий, а также основные характеристики телескопов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры телескопов, принимавших участие в наблюдении астероидов, сближающихся с Землей 2012LJ

Код пункта наблюдений	D , см	F , м	Количество положений
089 НИИ НАО	50	3.0	7
G96 Mt. Lemmon Survey	150	3.0	13
H21 Astronomical Research Observatory, Westfield	61	2.44	17
H36 Sandlot Observatory, Scranton	56	—	5
J84 South Observatory, Clanfield	61	2.9	7
J95 Great Shefford	40	2.4	4

Как видно из рис. 1, при сближении с Землей значительно увеличивается скорость видимого движения АСЗ, что затрудняет наблюдения таких объектов классическим методом. На неподвижном телескопе при применении режима накопления ПЗС-камеры высокая скорость видимого движения приводит к «размазыванию» изображения АСЗ вдоль траектории движения.

Как видно из табл. 2, для наблюдения малоразмерных АСЗ в период сближений в основном используются светосильные объективы с фокусным расстоянием до 3 м и диаметром до 1 м (за исключением обзорных телескопов).

Метод наблюдений и телескоп Научно-исследовательского института «Николаевская астрономическая обсерватория». В НИИ НАО для наблюдения малоразмерных АСЗ используется комбинированный метод наблюдений (КМН) [1, 2, 6]. При этом телескоп остается неподвижным, а процессы получения изображений объектов и опорных звезд разделены. КМН реализован с применением режима работы ПЗС-камеры «time delay and integration» (TDI), что 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, которая обеспечивает поворот 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 [1].

Наблюдения АСЗ в НИИ НАО проводятся на телескопе КТ-50 мобильного комплекса МОБИТЕЛ [3] ($D = 50$ см, $F = 3$ м, поле зрения 0.7×0.7 , предельная звездная величина — 18.5^m при экспозиции 120 с). Телескоп оснащен ПЗС-камерой «Arogee Alta U9000» (3000 × 3000, размер пикселя 12 мкм).

Наблюдения малоразмерных объектов. В НИИ НАО за период 2012—2014 гг. проведены наблюдения 15 АСЗ размером до 140 м, 14 из них наблюдались при сближении с Землей на расстояние менее 0.05 а. е. Все наблюдения проведены с использованием комбинированного метода. Астероиды, сближающиеся с Землей, блеска $15...17^m$ наблюдались с экспозицией 90 с, АСЗ $17...18.5^m$ — с экспозицией 120 с. Одно положение соответствует одной экспозиции.

В табл. 3 представлены диаметры d АСЗ на момент наблюдений по данным [<http://newton.dm.unipi.it/neodys/>], общее количество N положений, полученных обсерваториями мира, количество N_2 положений, полученных в НИИ НАО в %, расстояние до Земли, звездная величина m , скорость видимого движения v в секундах дуги, усредненные по серии кадров невязки положений $O - C$, полученных в НИИ НАО.

Таблица 3. Размеры, условия и точность наблюдений малоразмерных астероидов, сближающихся с Землей

Номер	d , км	N	N_2 , %	, а. е.	m	v , /мин	($O - C$)	($O - C$)
2000WL63	0.02...0.04	263	2.7	0.18	17.8	4.7	0.13	0.22
2011JY1	0.03...0.08	106	6.6	0.03	18.5	16.0	0.01	0.04
2012EO8	0.04...0.09	119	5.0	0.01	17.1	82.8	0.11	0.02
2012FQ35	0.05...0.12	170	4.7	0.04	18.3	15.5	0.21	0.19
2012HM	0.04...0.10	521	3.6	0.01	15.7	46.3	0.18	-0.1
2012HP13	0.04...0.09	195	10.3	0.01	15.8	174.7	0.33	0.24
2012LJ	0.02...0.05	53	13.2	0.005	18.2	306.3	-0.03	0.09
2012TC4	0.01...0.03	301	4.0	0.001	16.5	19.1	0.15	-0.05
2012XH112	0.01...0.02	48	41.7	0.01	17.2	90.4	0.00	0.05
2013GK69	0.05...0.11	65	4.6	0.04	18.1	20.5	0.15	-0.01
2013XY8	0.03...0.06	248	8.5	0.01	14.9	80.1	0.35	0.28
2014FD	0.02...0.05	78	11.5	0.01	18.1	55.6	-0.33	-0.67
2014FO38	0.01...0.03	79	5.1	0.01	18.0	58.1	0.42	0.53
2014FR52	0.05...0.11	79	7.6	0.05	18.4	9.4	0.08	-0.3
2014HV2	0.01...0.04	70	12.9	0.02	18.6	8.1	-0.11	0.28

Как видно из табл. 3, скорость видимых движений всех АСЗ, наблюдавшихся в НИИ НАО, составляла $v > 5$ /мин, при этом средние значения $O - C$ равнялись 0.06 по прямому восхождению и 0.05 по склонению, средняя квадратичная погрешность наблюдений составляет 0.2...0.6 . С учетом малого количества наблюдений данная точность является приемлемой. Все данные наблюдений отправлены в Международный центр малых планет.

Наблюдение астероидов, сближающихся с Землей, в условиях малой солнечной элонгации. Одной из приоритетных является задача обнаружения и сопровождения АСЗ в условиях малой солнечной элонгации (менее 90°) [4]. Поиск АСЗ в зоне малых элонгаций запланирован в космических миссиях «Gaia», «Near Earth Object Surveillance Satellite» [4].

Для подтверждения эффективности использования комбинированного метода для наблюдений АСЗ в условиях малых солнечных элонгаций 10 июня 2014 г. в НИИ НАО проведены наблюдения АСЗ 2014HQ124 при элонгации 45° . Кроме НИИ НАО, наблюдения этого АСЗ были проведены в пяти обсерваториях мира (см. табл. 4).

Как видно из табл. 4, для наблюдений АСЗ использовались светосильные объективы с диаметром до 1 м. Наблюдения АСЗ 2014HQ124 проведены в рамках международного проекта «Наблюдения и исследования малых тел Солнечной системы перед и во время GAIA», результаты наблюдений отправлены в Институт небесной механики и вычисления эфемерид (Париж) [<https://www.imcce.fr/gaia-fun-ss0/>].

Всего в НИИ НАО на малых углах солнечной элонгации (менее 90°) проводились наблюдения восьми АСЗ, из них три — при элонгации менее 45° . Условия наблюдений приведены в табл. 5.

Таблица 4. Обсерватории и параметры телескопов, задействованных в наблюдениях астероидов, сближающихся с Землей 2014HQ124 10 июня 2014 г.

Код пункта наблюдений	D , см	F , м	Страна
089 НИИ НАО	50	3.0	Украина
585 Киевская кометная станция	70	2.8	Украина
C20 Пулковская обсерватория	50	4.0	Россия
C77 Обсерватория Vernezzo	25	1.0	Италия
J69 Северная обсерватория, Clanfield	41	1.8	Великобритания
L04 ROASTERR-1, Cluj-Napoca	30	1.5	Румыния

Таблица 5. Условия наблюдения астероидов, сближающихся с Землей на малых углах солнечной элонгации

Номер	Солнечная элонгация, град	\bar{m}	\bar{v} , /мин	
3199	36	38 58 38	17.6	2.5
1999HF1	43	56 18 46	16.5	4.9
2014HQ124	45	61 48 10	17	18.6
2001PJ9	54	50 45 54	17.6	18.3
2011WV134	58	65 26 28	16.6	9.7
2002GT	59	78 26 04	18	4.6
1999KW4	67	57 33 53	17.6	5.3
2012LJ	67	73 42 05	17.6	346.4

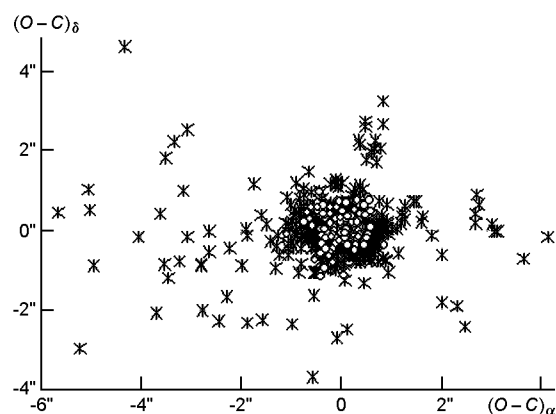


Рис. 2. Распределение невязок $O - C$ по прямому восхождению и склонению для АСЗ, наблюдаемых в условиях низкой элонгации

Результаты наблюдений АСЗ в условиях малой солнечной элонгации были обработаны и отправлены в международный центр малых планет. Распределение невязок $O - C$ по прямому восхождению и склонению приведена на рис. 2.

Как видно из рис. 2, невязки наблюдений НИИ НАО находятся в пределах ± 1 и равномерно распределены около нуля, что говорит об отсутствии систематических ошибок. В сравнении с другими обсерваториями комбинированный метод наблюдений, применяемый в НИИ НАО, позволяет получать положения АСЗ, наблюдаемых в условиях малой солнечной элонгации, с высокой точностью.

Таблица 6. Условия наблюдений кандидатов в астероиды, сближающиеся с Землей и средние значения $O - C$ положения

Предварительный номер	Номер	Количество положений	m	v , /мин	d , км	, а. е.	$(O - C)$	$(O - C)$
TT2E495	2012TG53	14	17.3	27.5	0.06...0.15	0.031	0.2	0.14
TT2ED76	2005JU1	12	17.3	10.8	0.14...0.32	0.079	0.07	0.12
VJA8CAE	2014JO25	9	17.5	7.8	0.70...1.60	0.264	0.11	0.34
S003564	2014KP4	8	16.3	5.4	0.41...0.92	0.163	0.06	0.19

Наблюдение новых астероидов, сближающихся с Землей (кандидатов в АСЗ). В 2012 г. в НИИ НАО начаты наблюдения кандидатов в АСЗ с использованием комбинированного метода. За 2012–2014 гг. проведены наблюдения четырех кандидатов в АСЗ, условия и погрешности наблюдений приведены в табл. 6.

Средняя квадратичная погрешность наблюдений находится в пределах 0.15—0.51 . Учитывая то что для данных АСЗ невязки рассчитаны на дуге орбиты не более 2 сут точность наблюдений является приемлемой. За наблюдения кандидатов в АСЗ НИИ НАО включена в список обсерваторий, получивших благодарность от миссии Catalina Sky Survey [<http://www.lpl.arizona.edu/css/kudos.html>].

Выводы. Разработанный в НИИ НАО комбинированный метод наблюдений и модернизированный телескоп КТ-50 позволили НИИ НАО участвовать в международных проектах, связанных с решением задачи астероидно-кометной опасности. Использование комбинированного метода позволяет применять светосильные телескопы диаметром до 0.5 м для наблюдений малоразмерных АСЗ в периоды сближений с Землей, а также АСЗ в условиях малой солнечной элонгации.

За период 2012—2014 гг. проведены наблюдения 15 АСЗ размером до 140 м. Скорость видимого движения всех АСЗ превышала 5 /мин, средние значения $O - C$ составили 0.06 по прямому восхождению и 0.05 по склонению, стандартное отклонение наблюдений находится в пределах 0.2—0.6 . С учетом малого количества наблюдений таких объектов данная точность является приемлемой. Все данные наблюдений отправлены в Международный центр малых планет и представлены на сайте проекта NEODyS [<http://newton.dm.unipi.it/neodyS/index.php?pc=2.1.2&o=089&ab=0>].

В НИИ НАО проведены наблюдения восьми АСЗ, которые подтвердили эффективность использования комбинированного метода наблюдений для АСЗ в условиях малой элонгации. Невязки наблюдений находятся в пределах ± 1 и равномерно распределены около нуля, что говорит об отсутствии систематических ошибок.

Наблюдения АСЗ 2014HQ124 проведены в рамках международного проекта GAIA Follow Up Network for Solar System Objects, результаты наблюдений отправлены в Институт небесной механики и вычисления эфемерид (Париж).

Комбинированным методом проведены наблюдения четырех кандидатов в АСЗ, среднее значение $O - C$ составило -0.07 по прямому восхождению и -0.03 по склонению, СКП наблюдений находится в пределах $0.15...0.51$. За эти наблюдения НИИ НАО получила благодарность от миссии Catalina Sky Survey.

1. Козырев Е. С., Сибирякова Е. С., Шульга А. В. Исследование точности астрометрической редукиции при использовании комбинированного метода наблюдений // Космічна наука і технологія.—2010.—**16**, № 5.—С. 71—76.
2. Сибирякова Е. С., Козырев Е. С., Шульга А. В. Результаты координатных наблюдений астероидов, сближающихся с Землей, с использованием комбинированного метода наблюдений // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—2013.—**109**, № 1.—С. 103—108.
3. Шульга А. В., Козырев Е. С., Сибирякова Е. С. и др. Мобильный комплекс телескопов НИИ НАО для наблюдений объектов околоземного космического пространства // Космічна наука і технологія.—2012.—**18**, № 4.—С. 52—58
4. Bancelin D., Hestroffer D., Thuillot W. Near Earth asteroids astrometry with GAIA // Proc. of Gaia Follow-up Network for Solar System Objects Workshop held at IMCCE. — Paris Observatory, 2010.—P. 47—50.
5. Popova O. P., Jenniskens P., Emel'yanenko V., et al. Chelyabinsk airburst, damage assessment, meteorite recovery, and characterization // Science.—2013.—**342**, N 6162.—P. 1069—1073.
6. Shulga O., Kozoryev Y., Sybiryakova Y. Observation of NEO having high apparent rates with Mobitel telescope // Proc. of Gaia follow-up network for solar system objects workshop held at IMCCE. — Paris observatory, France, 2011.—P. 97—100.

Статья поступила в редакцию 05.08.14