

УДК 520.25

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ АСТЕРОИДНЫЙ ОБЗОР СЕТИ ISON, ПОИСК АСЗ И КОМЕТ ИЗ ОБОИХ ПОЛУШАРИЙ ЗЕМЛИ

Еленин Л. В., Круглый Ю. Н., Молотов И. Е., Инасаридзе Р. Я., Румянцев В. В.,
Рева И. В., Шильдкнехт Т., Перец Тижерина Э. Г., Перец Леон Ж. Э.,
Шмальц С. Е., Новичонок А. О., Тунгалаг Н., Кокина Т. Н., Терешина М. А.

ROBOTIC ASTEROID SURVEY OF THE ISON NETWORK, SEARCH OF ASTEROIDS
AND COMETS FROM BOTH HEMISPHERES OF THE EARTH

Elenin L. V.¹, Krugly Yu. N.², Molotov I. E.¹, Inasaridze R. Ya.³, Romyantsev V. V.⁴,
Reva I. V.⁵, Schildknecht T.⁶, Perez Tijerina E. G.⁷, Perez Leon J. E.⁷, Schmalz S. E.¹,
Novichonok A. O.¹, Tungalag N.⁸, Kokina T. N.⁹, Tereshina M. A.¹

¹ Keldysh Institute of Applied Mathematics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² Institute of Astronomy, Karazin National university, Kharkov, Ukraine

³ Abastumani Astrophysical Observatory of Ilia State University, Tbilisi, Georgia

⁴ Crimean Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences, Nauchny, Crimea, Russia

⁵ Fesenkov astrophysical institute, Almaty, Kazakhstan

⁶ Astronomical Institute, University of Bern, Bern, Switzerland

⁷ Physical Sciences-Mathematics faculty, Autonomous University of Nuevo Leon, Monterrey, Mexico

⁸ Research Centre of Astronomy and Geophysics of Academy of Science, Ulaanbaatar, Mongolia

⁹ Centre of Astronomy, Autonomous University of Sinaloa, Culiacan, Mexico

e-mail: im62@mail.ru

Abstract. ISON project that is coordinated KIAM RAS develops the concept of “second wave” asteroid survey – survey with small telescopes that provide full sky coverage during night to detect fast NEAs missed in the dedicated asteroid surveys with large telescopes. It is successfully adjusting apparatuses, software and methodical aspects for this goal – two demonstrating asteroid surveys with 40-cm telescopes are already working. Survey observations received more 1 million

Еленин Леонид Владимирович, научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: l.elenin@gmail.com.

Круглый Юрий Николаевич, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник Института астрономии Харьковского национального университета им. В.Н. Каразина; e-mail: krugly@astron.kharkov.ua.

Молотов Игорь Евгеньевич, старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН; e-mail: im62@mail.ru.

Инасаридзе Рагули Яковлевич, старший научный сотрудник Абастуманской астрофизической обсерватории Тбилисского государственного университета; e-mail: innasaridze@yahoo.com.

Румянцев Василий Владимирович, старший научный сотрудник Крымской астрофизической обсерватории РАН; e-mail: rum@craocrimea.ru.

Рева Инна Владимировна, младший научный сотрудник Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова; e-mail: alfekka@aphi.kz.

Шильдкнехт Томас, д-р физ.-мат. наук, заместитель директора по оптической астрономии Института астрономии Университета Берна; e-mail: thomas.schildknecht@aiub.unibe.ch.

Перец Тижерина Эдуардо Герардо, д-р физ.-мат. наук, руководитель аспирантуры планетной астрофизики и координации прикладных технологий Физико-математического факультета Автономного университета Нуэво-Леона; e-mail: eduardo.perez@tj@gmail.com.

Перец Леон Жозе Энрике, канд. физ.-мат. наук, преподаватель-исследователь физико-математического факультета Автономного университета Нуэво-Леона; e-mail: enrique584@hotmail.com.

Шмальц Сергей Евгеньевич, инженер-наблюдатель Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН; e-mail: sergiuspro77@gmail.com.

Новичонок Артём Олегович, канд. биол. наук, инженер Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН; e-mail: artnovich@inbox.ru.

Тунгалаг Намхай, канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом астрометрии Института астрономии и геофизики АН Монголии; e-mail: namkhai_tungalag@yahoo.com.

Кокина Татьяна Николаевна, канд. физ.-мат. наук, руководитель Центра астрономии Автономного университета Синалоа; e-mail: anisili@rambler.ru.

Терешина Мария Александровна, старший инженер ИПМ им. М.В. Келдыша РАН; e-mail: mawarubia@gmail.com.

Работа была частично поддержана грантом RUSTAVELI “FR/379/6-300/14”.

astrometry measurements. It were discovered 1750 main belt asteroids, 17 near-Earth asteroids, 8 comets, 20 Trojans of Jupiter, 4 objects from the family of Hilda, 4 objects of family Centaur.

Large cooperation of telescope for photometry observations of asteroids is arranged to investigate physical characteristics of Potentially Hazardous Asteroids (PHAs), especially newly discovered NEAs, to search for binary asteroids and determinate the parameters of binary systems, to investigate the YORP-effect. Few hundreds of observation nights allowed to receive the 400 light curves on 180 NEAs, to discover 9 binary systems. Also it is adjusting the follow up observations of discovered objects.

Keywords: telescope, survey, near-Earth asteroid, comet, photometry, light curve, astrometry, software, statistics.

Введение

Помимо планет и их спутников, пространство Солнечной системы населено огромным количеством небесных тел. Это так называемые малые тела Солнечной системы — метеороиды, астероиды и кометы. Все объекты Солнечной системы движутся в поле тяготения Солнца по эллиптическим или параболическим орбитам. Максимальная скорость движения любой точки (объекта) соответствуют параболическому движению.

Среди общего населения астероидов и комет в Солнечной системе выделяют группу астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ). Особый интерес эта группа вызывает в связи с проблемой астероидно-кометной опасности (АКО), т.е. угрозой опасных столкновений Земли с достаточно крупными (размером более 50 м) космическими телами.

Свойства АСЗ, включая орбитальные распределения, а также их физические и другие характеристики являются основополагающей информацией для определения степени опасности, исходящей от небесных тел. В частности, знание орбитальных характеристик важно для постановки технических требований к системе обнаружения и мониторинга опасных небесных тел.

В последнее время число обнаруженных АСЗ резко возросло, благодаря специальным службам поиска этих объектов. Это позволяет получить общее представление о распределении малых тел в околоземном пространстве, по крайней мере, для крупных объектов, и высветить те проблемы, которые требуется решить в предотвращении космической угрозы.

До настоящего времени вклад российских ученых в решение этих задач невелик, поэтому в рамках проекта Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений (НСОИ

АФН) [1] проводятся исследования, направленные на поиск возможных точек приложения отечественных усилий в этой области. Представляется разумным не соревноваться в этой области с США, которые являются здесь лидерами, не вкладывать деньги в крупногабаритные и космические телескопы (это все слишком дорогие и крайне долгосрочные проекты), а найти те направления работ, которые позволят в сжатые сроки и при относительно небольшом финансировании внести достойный вклад в мировые усилия по решению проблемы АКО.

НСОИ АФН развивает аппаратуру и методику астероидных обзоров с малыми телескопами [2], проводит кампании фотометрических наблюдений АСЗ [3] и отрабатывает сопровождение недавно найденных объектов.

1. Роботизированный астероидный обзор сети ISON

Регулярные поисково-обзорные наблюдения астероидов и комет стартовали в проекте НСОИ АФН с середины 2010 г. Параметры телескопов, используемых для этой работы показаны в табл. 1. Производится отработка концепции астероидных обзоров «второй волны» — обзоров с малыми телескопами, обеспечивающими полное покрытие небесной сферы, чтобы обнаруживать быстрые АСЗ, пропущенные специализированными обзорами с большими телескопами. При этом решаются две основные задачи: подбор оптимального комплекта оборудования и программного обеспечения для обзорных наблюдений, а также поэтапное создание замкнутого комплекса собственного программного обеспечения для роботизированных обсерваторий.

В течение 2016–2107 гг. обзоры выполнялись с помощью двух 40-см телескопов — в Мейхилл, США и Сайдинг Спринг, Австралия (совместный проект с университетом Бер-

Таблица 1. Параметры телескопов НСОИ АФН, используемых для астероидных обзоров

| Телескоп | Апертура, мм | Поле, град. | Приемник, мм | Разрешение, "/пкс | Обсерватория |
|--------------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|----------------------|
| Сантел-400АН | 400 | 1,76 | 36×36 | 1,55 | Мейхилл (Н15) |
| АСА 16" Дельтаграф | 400 | 2,2 | 36×36 | 1,93 | Сайдинг Спринг (Q60) |
| ОРИ-40 | 400 | 2,28 | 36×36 | 2,67 | Хуралтогот (O75) |
| Астросиб RC-510 | 500 | 2 | 50×50 | 3,6 | Мульта |
| Сантел-400/500 | 400 | 4 | 36×36 | 3,6 | — |

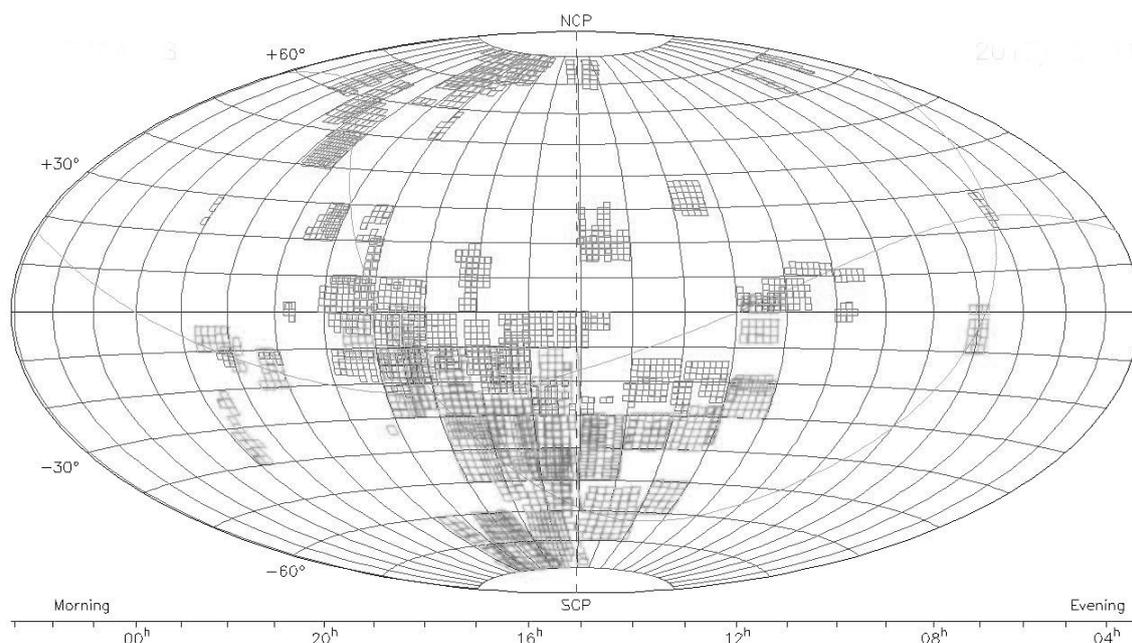


Рис. 1. Покрытие небесной сферы обзорами НСОИ АФН за апрель-май 2017 г.

на, Швейцария) на опорно-поворотных устройствах AP-1600ГТО. Наблюдения с рабочим проницанием 20,5 звездных величин проводятся удаленно через Интернет, полученные ПЗС-кадры перекачиваются в ИПМ в реальном времени и обрабатываются в созданном центре планирования и обработки астероидных обзоров. Типичное покрытие небесной сферы обзорами НСОИ АФН показано на рис. 1. К настоящему моменту получено более 1 млн. измерений. Открыто 1750 астероидов главного пояса (распределение орбитальных элементов этих астероидов показано на рис. 2), 17 АСЗ, 8 комет, 20 троянцев Юпитера, 4 объекта семейства Хильды, 4 объекта семейства Кентавра. В 2016 году обоими обсерваториями получено 213 тысяч позиционных измерений, открыты 22 новых астероида, включая АСЗ 2016 NX.

Завершается тестирование собственной версии программного обеспечения КДС для

управления оборудованием телескопа при проведении наблюдений малых тел Солнечной системы. Программный комплекс КДС позволил на 25 % увеличить производительность. Заказан первый из телескопов новой серии, Сантел-400/500, с полем зрения 4×4 градуса, использование которых позволит вплотную подойти к реализации полного покрытия небесной сферы за ночь.

2. Кампании НСОИ АФН по проведению фотометрических наблюдений АСЗ

С 2008 г. НСОИ АФН проводит несколько наблюдательных кампаний в год с участием значительного количества телескопов апертурой от 40 см до 2,6 м. Задачами фотометрических наблюдений являются: изучение вновь открытых АСЗ в период их сближения с Землей; поиски двойных астероидов

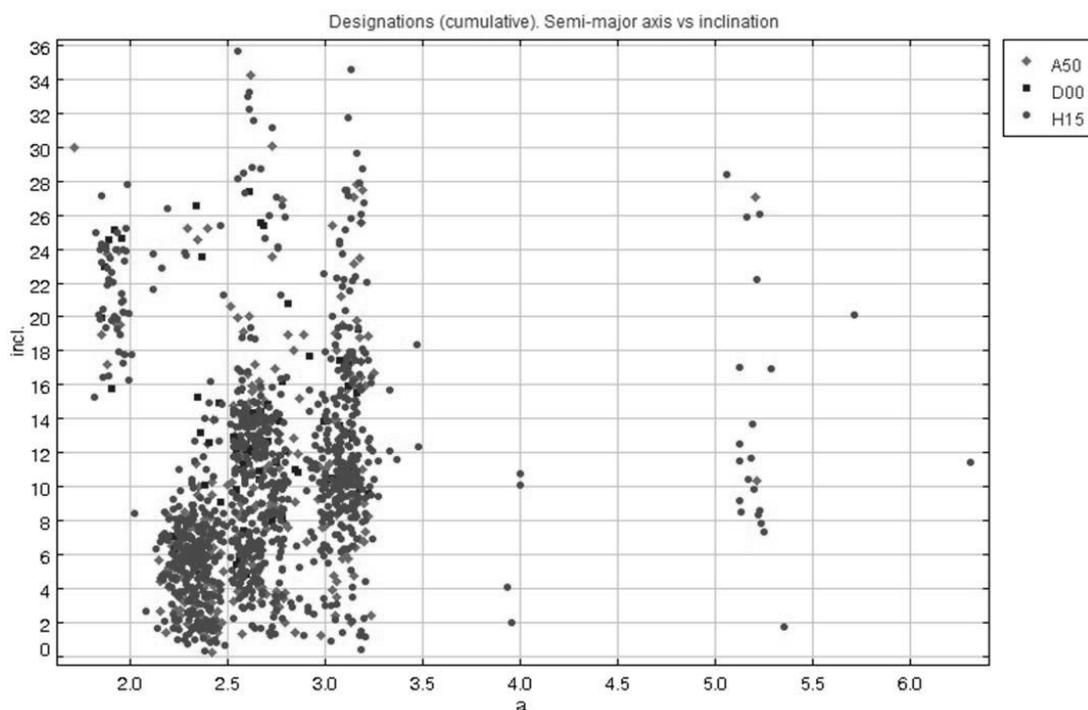


Рис. 2. Распределение открытых НСОИ АФН астероидов по орбитальным элементам (большая полуось/наклонение)

среди АСЗ [4] и малых астероидов главного пояса, определение параметров двойных и кратных систем астероидов; изучение влияния негравитационных сил на скорости и наклоны осей вращения астероидов — координатных земной орбите и близко приближающихся к Солнцу, пересекающих орбиты Венеры и Меркурия [5]; исследование физических свойств АСЗ, выбранных целями для радиолокационных наблюдений [5] и космических миссий.

Всего фотометрическими наблюдениями было получено более 400 кривых блеска для 180 АСЗ, что позволило открыть уже 9 двойных астероидов, а также подтвердить YORP-эффект у 5 АСЗ. Статистика наблюдений АСЗ с 2013 по 2016 гг. показана на рис. 3.

В наблюдательных кампаниях принимают участие следующие телескопы: 70-см АС-32 в Абастумани (Грузия), 70-см АЗТ-8 в Чугуеве (Украина), 1-м Цейсс-1000 в Симеизе (Крым), 2,6-м ЗТШ в Научном (Крым), 60-см Цейсс-600 и 1,5-м АЗТ-22 на Майданаке (Узбекистан), 1-м Цейсс-1000 на Тянь-Шане (Казахстан), 2-м Цейсс-2000 в Рожен (Болгария). Регулярно предпринимаются попытки вовлечь в фотометрические наблюдения и другие телескопы сети, вплоть до самых

малых (например, 6-10 октября 2015 г. для яркого АСЗ 2015 FS332 была получена кривая блеска на 25-см ТАЛ-250 в Барнауле, а 20-31 октября 2015 г. АСЗ 2015 ТВ145 наблюдался на 25-см ГАС-250 в Уссурийске).

В 2016 г. на 200 ночах наблюдались 44 АСЗ. Оценены периоды вращения для 15 АСЗ и для более 20 — подтверждены или улучшены. На кривых блеска астероидов (3122) Florence и (337866) 2001 WL15 обнаружены признаки возможной двойственности этих тел. В качестве примера на рис. 4 приведена кривая блеска астероида (1685) Торо, ожидается, что фотометрические наблюдения подтвердят влияние YORP эффекта на период вращения Торо.

В 2017 г. пробные наблюдения прошли на 80-см телескопах К-800 на пике Терскол (Россия) и РК-800 в Маяках (Украина). Планируется, что с 2018 г. в фотометрических кампаниях НСОИ АФН начнут принимать участие и два телескопа в Мексике — 40-см телескоп ЧВ-400 в Косале и 35-см МИД ЛХ600-АСФ-14" в Монтерее. Также предполагается, что будут вовлечены три 50-см телескопа, которые планируется установить в Мульте (Астросиб РК-500), Уссурийске (ЧВ-500) и Ассы-Тургени (Астросиб РК-500)

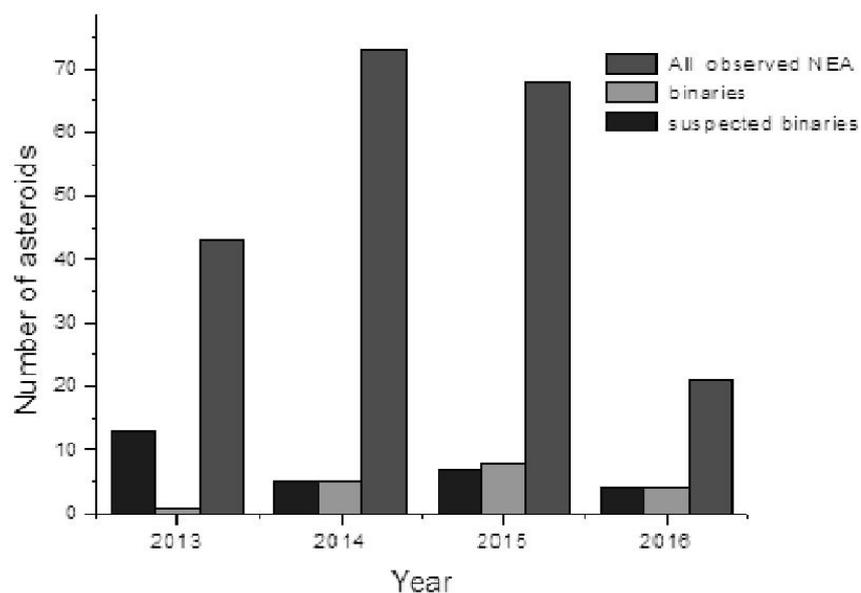


Рис. 3. Количество простых, двойных АСЗ и потенциально двойных, наблюдавшихся в 2013–2016 гг.

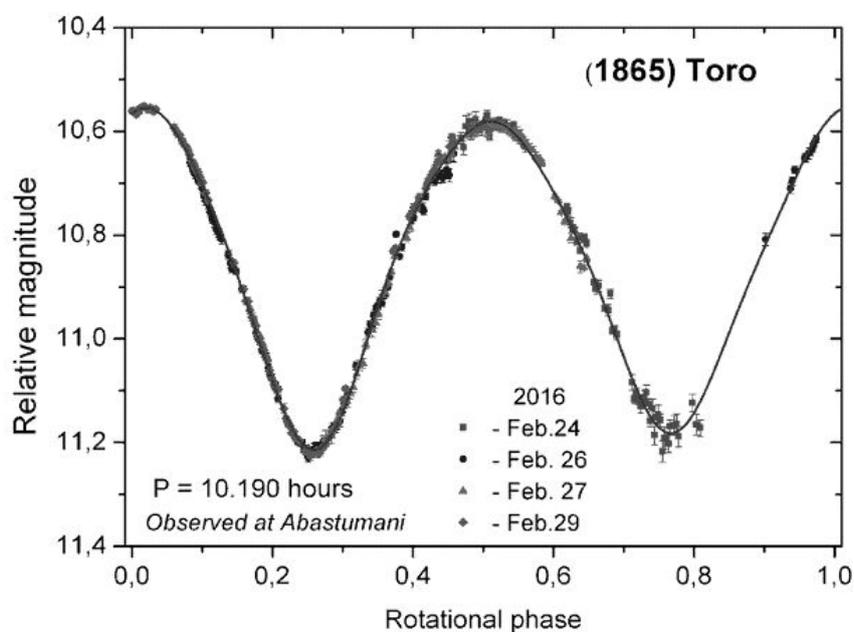


Рис. 4. Составная кривая блеска астероида (1685) Торо по наблюдениям на 70-см телескопе АС-32 в Абастумани в феврале 2016 г.

3. Отработка астрометрических наблюдений АСЗ

Помимо обнаружения новых АСЗ, остро стоит задача сопровождения недавно найденных объектов и уточнение орбит каталогизированных АСЗ в их новых оппозициях. В отличие от задачи обнаружения, данная область не имеет серьезного финансирования, поэтому подобная работа проводится не на постоянной, обязательной основе. Особую актуальность темы доказывает инициатива США на уровне ООН по организации международной сети слежения за АСЗ (т.н. International asteroid warning network — IAWN) [6]. Поэтому в проекте НСОИ АФН на 40-см телескопе ОРИ-40 в Хуралтоготе, Монголия (O75) проводилась отработка оперативного подхвата новых АСЗ и комет со страниц НЕОСР и СССР Центра Малых Планет с целью их подтверждения и определения их орбит (результаты вошли 69 электронных циркуляров). Обзорами Н15 и Q60 налажен взаимный подхват новых объектов, когда по новым объектам, открытым одним телескопом, проводятся уточняющие наблюдения вторым инструментом. Кроме того, на первом телескопе Цейсс-1000 на Тянь-Шане проводилась идентификация кометной активности у объектов, открытых астероидным обзором Н15, а целый ряд телескопов НСОИ АФН проводили астрометрические наблюдения в поддержку радиолокационных экспериментов для уточнения орбит выбранных астероидов. Планируется, что доля наблюдательного времени, выделяемого для этой задачи, будет постепенно увеличиваться.

Заключение

Проектом НСОИ АФН проводятся регулярные поисково-обзорные наблюдения астероидов и комет (в т.ч. в Южном и Западном полушариях Земли). Основная задача поисково-обзорных наблюдений ИПМ им. М.В. Келдыша РАН - отработка концепции т.н. «второго рубежа обороны» — полного обзора неба за ночь малыми телескопами для обнаружения АСЗ, пропущенных большими обзорами. Проектом НСОИ АФН обнаружено уже 17 АСЗ и 7 комет, а также 1750 астероидов главного пояса. Вторым важным направлением работ считаем исследования физических свойств АСЗ. Поэтапно создается кооперация телескопов для фотометрических

наблюдений, которые направлены на обнаружение и исследование двойных АСЗ, построение моделей формы АСЗ, изучение влияния YORP эффекта на вращение астероидов. К настоящему моменту фотометрическими наблюдениями на телескопах НСОИ АФН получено более 400 кривых блеска для 180 АСЗ, открыто 9 двойных астероидов, YORP-эффект подтвержден у 5 АСЗ. Также начаты регулярные астрометрические наблюдения с целью подхвата новых астероидов (получение астрометрических измерений для уточнения орбиты новых объектов). Ожидается значительное увеличение вклада НСОИ АФН в астероидные исследования после ввода в строй телескопов новой серии.

Литература

1. Молотов И.Е., Агапов В.М., Куприянов В.В. и др. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. 2009. № 219. Вып. 1. С. 233—248.
2. Еленин Л.В., Молотов И.Е., Невский В.С. и др. Результаты сети ISON в задачах поиска и изучения малых тел Солнечной системы // Сборник тезисов Международной научной конференции «Околосемная астрономия-2013». 2013. С. 14—15.
3. Krugly Yu.N., Molotov I.E., Agapov V.M. at al. Photometry of Near-Earth Asteroids within Network ISON // Proc. of the conference Asteroids, Comets, Meteors. 2012. С. 1667.
4. Durech J., Vokrouhlický D., Kaasalainen M. at el. New photometric observations of asteroids (1862) Apollo and (25143) Itokawa - an analysis of YORP effect // Astronomy and Astrophysics. 2008. Vol. 488. Iss. 1. P. 345-350.
5. Magri C., Howell E.S., Nolan M.C. at el. Radar and photometric observations and shape modeling of contact binary near-Earth Asteroid (8567) 1996 HW1 // Icarus. 2011. Vol. 214. Iss. 1. P. 210-227.
6. Shustov B., Panasyuk M., Naroenkov S. et al. Activities in Russia on NEO: progress in coordination, instrumentation and study of consequences // Acta Astronautica. Preprint 31.10.2017

References

1. Molotov I. E., Agapov V. M., Kouprianov V. V. et al. Nauchnaya set' opticheskikh instrumentov dlya astrometricheskikh i fotometricheskikh nablyudeniy [Scientific network of optical instruments for astrometric and photometric observations]. *Izvestiya Glavnoy astronomicheskoy ob-*

- servatorii v Pulkove* [Transactions of the Central Astronomical Observatory at Pulkovo], 2009, no. 219, iss. 1, pp. 233–248. (In Russian).
2. Elenin L.V., Molotov I.E., Nevsky V.S. at el. Results of ISON network in goals of search and investigation of minor planet bodies of Solar system. *Book of abstracts of International scientific conference "Near-Earth astronomy-2013"*, 2013, pp. 14–15. (In Russian).
 3. Krugly Yu.N., Molotov I.E., Agapov V.M. at al. Photometry of Near-Earth Asteroids within Network ISON. *Proc. of the conference Asteroids, Comets, Meteors*, 2012, p. 1667.
 4. Durech J., Vokrouhlický D., Kaasalainen M. at el. New photometric observations of asteroids (1862) Apollo and (25143) Itokawa - an analysis of YORP effect. *Astronomy and Astrophysics*, 2008, vol. 488, iss. 1, pp. 345–350.
 5. Magri C., Howell E.S., Nolan M.C. at el. Radar and photometric observations and shape modeling of contact binary near-Earth Asteroid (8567) 1996 HW1. *Icarus*, 2011, vol. 214, iss. 1, pp. 210–227.
 6. Shustov B., Panasyuk M., Naroenkov S. et al. Activities in Russia on NEO: progress in coordination, instrumentation and study of consequences. *Acta Astronautica*. Preprint 31.10.2017.

© Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества, 2017

© Еленин Л. В., Круглый Ю. Н., Молотов И. Е., Инасаридзе Р. Я., Румянцев В. В., Рева И. В., Шильдкнехт Т., Перец Тижерина Э. Г., Перец Леон Ж. Э., Шмальц С. Е., Новичонок А. О., Тунглаг Н., Кокина Т. Н., Терешина М. А., 2017

Статья поступила 8 ноября 2017 г.