

УДК 523.44 + 520.6

## **Б. М. Шустов**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт астрономии Российской академии наук  
ул. Пятницкая 48, Москва, Россия, 119017  
bshustov@inasan.ru

### **О современном подходе к задаче обнаружения опасных небесных тел**

*Обсуждается проблема обнаружения опасных для Земли небесных тел естественного происхождения и современная концепция построения системы обнаружения таких тел. Концепция включает два направления: дальнейшее обнаружение крупных ( $> 50$  м) опасных небесных тел (ОНТ) со временем упреждения в несколько десятков суток, достаточным для обеспечения возможности активного противодействия, и обнаружение ОНТ размером более 10 м в околоземном космическом пространстве со временем упреждения более нескольких часов, достаточным для предупреждения населения и проведения мер защиты. Приведены примеры развития такого подхода и обсуждаются перспективы международной кооперации.*

*ПРО СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ЗАДАЧІ ВИЯВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ НЕБЕСНИХ ТІЛ, Шустов Б. М. — Обговорюється проблема виявлення небезпечних для Землі небесних тіл природного походження і сучасна концепція побудови системи виявлення таких тіл. Концепція включає два напрямки: далеке виявлення великих ( $> 50$  м) небезпечних небесних тіл (ННТ) з часом попередження декілька десятків діб, достатньому для забезпечення можливості активної протидії, і виявлення ННТ розміром понад 10 м в навколоземному космічному просторі з часом попередження декілька годин, чого достатньо для попередження населення і проведення заходів захисту. Приведено приклади розвитку такого підходу і обговорюються перспективи міжнародної кооперації.*

*ON THE MODERN APPROACH TO THE PROBLEM OF DETECTING HAZARDOUS CELESTIAL BODIES, by Shustov B. M. — The problem of detecting dangerous (in the sense of a collision with the Earth) celestial*

*bodies of natural origin and the modern concept of building a system of detection of such bodies are discussed. The concept includes two items: remote detection of large ( $> 50$  m) hazardous objects providing warning time of several tens of days, which is sufficient to allow the active counteraction, and detection hazardous bodies larger than 10 m in near-Earth space providing warning time of few hours, which is sufficient to issue a warning and to carry out mitigation activities. Some examples of this approach and prospects of the international cooperation are discussed.*

**Введение.** В данной работе обсуждается современная концепция обнаружения опасных (в смысле столкновения с Землей) небесных тел естественного происхождения. Такие столкновения составляют суть проблемы астероидно-кометной опасности (АКО). Основные сведения об астероидно-кометной опасности можно найти в книге [1]. По своей структуре проблема АКО — комплексная. Выделяют три её основные составляющие:

1) проблема обнаружения (выявления) всех опасных небесных тел и определения их свойств.

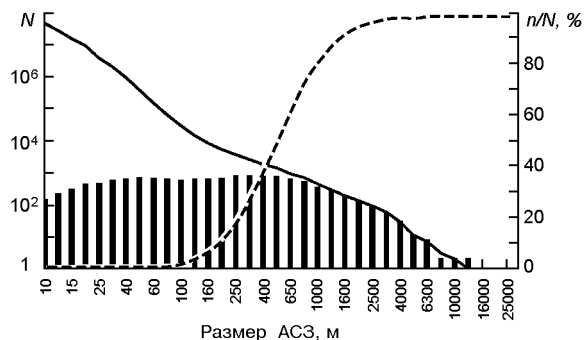
2) проблема оценки риска и принятия соответствующих решений.

3) проблема противодействия и уменьшения ущерба.

Естественно, что первоочередной задачей является решение проблемы обнаружения опасных небесных тел. Определение «опасные» недостаточно конкретно. Напомним, что есть общепринятые количественные определения: объекты, сближающиеся с Землей (ОСЗ), — это астероиды (АСЗ) и кометы с орбитами, для которых перигелийное расстояние  $q < 1.3$  а. е. Из их числа выделяют потенциально опасные объекты (ПОО), под которыми понимают тела, чьи орбиты сближаются с орбитой Земли до минимального расстояния (МОИД), не превышающего 0.05 а. е. К этому (динамическому) определению ПОО добавляют требование, чтобы абсолютная астероидная звездная величина  $H$  тела не превосходила  $22.0^m$  [см. <http://neo.jpl.nasa.gov/neo/groups.html>]. При средней для астероидов величины альбедо 0.15 последнее означает, что размер тела превышает 140 м. Формальность такого определения у многих исследователей вызывает некоторую неудовлетворённость, поэтому в последнее время появились и другие предложения, например за нижнюю границу размеров брался примерный размер Тунгусского тела — 50 м [5]. Челябинское событие 15 февраля 2013 г. существенно изменило наши представления об опасности столкновений, и теперь тела размером более 10 м также принято рассматривать как опасные. Поэтому в данной работе опасными небесными телами (ОНТ) будем называть ПОО размером не менее 10 м.

Основными требованиями в задаче обнаружения являются нижние пределы размера обнаруживаемого тела (определены выше), расстояние, на котором тело требуется обнаружить (оно определяет время упреждения), а также полнота обнаружения. В общем задача обнаружения рассматривается как задача оперативного и массового, т. е.

Рис. 1. Полнота обнаружения АСЗ (штриховая линия) и прогнозируемое распределение количества  $N$  популяции АСЗ по размерам (сплошная линия). Темными столбцами показано количество известных на 1 января 2015 г. АСЗ в интервале размеров (данные [8])



не ниже некоторого порога полноты (обычно 90 %) выявления опасных тел.

Очевидно, что главными вопросами с практической точки зрения являются именно полнота и своевременность обнаружения ОНТ. На рис. 1 (см. работу [8]) даны сведения для более широкого чем ОНТ класса тел, а именно для астероидов, сближающихся с Землёй. По определению ОНТ являются подклассом ОСЗ. Как показывает статистика, доля АСЗ во всем населении ОСЗ является основной. Доля потенциально опасных астероидов в населении обнаруженных АСЗ составляет немногим более 10 %, если брать традиционное определение ПОО как тел крупнее 140 м. На самом деле, конечно, при близких проходах обнаруживаются и более мелкие тела, поэтому количество обнаруженных ОНТ заметно больше, чем количество потенциально опасных астероидов (крупнее 140 м). Согласно проведённой нами статистики на основе данных из общедоступного банка данных наблюдений астероидов Minor Planet Center (<http://www.minorplanetcenter.net/>) на начало 2015 г. количество АСЗ составило 13045, а население ПОО представляло 1622 потенциально опасных астероида (крупнее 140 м) и 104 кометы, но количество ОНТ в нашем определении (см. выше) превысило 3700.

Пока полнота обнаружения, как видно из рис. 1, низка ( $n/N \approx 10\%$ ) для АСЗ размером 200 м и чрезвычайно мала для тел размером менее 50 м. Примерно такая же ситуация и с обнаружением ОНТ. Почему же мы так мало информированны? Главной проблемой является отсутствие достаточного количества специализированных средств наблюдений, и эффективной организации (кооперации) работ по обнаружению. Такая организация должна основываться на адекватной концепции обнаружения и на эффективном международном сотрудничестве.

#### **Современная концепция обнаружения опасных небесных тел.**

В мире построено уже довольно много крупных астрономических телескопов, но они, к сожалению, не годятся для решения задач массового обнаружения ПОО. Для построения современной системы обнаружения необходимо создавать специальные инструменты. Здесь мы обсудим лишь основные требования к инструментам обнаружения.

Эти требования определяются поставленными задачами. Современные представления об эффективном и полном обнаружении ОНТ подразумевают решение двух задач:

дальнее (дистанционное) обнаружение крупных ( $> 50$  м) ОНТ со временем упреждения несколько десятков суток, достаточным для обеспечения возможности активного противодействия;

обнаружение ОНТ в околоземном пространстве. Основная цель — обнаружить ОНТ размером более 10 м в околоземном космическом пространстве со временем упреждения более нескольких часов, достаточным для выдачи предупреждения и осуществления мер по уменьшению возможного ущерба.

Перечислим главные требования к телескопам, предназначенным для дальнего обнаружения крупных ( $> 50$  м) ОНТ. Оптимальные параметры таких систем вполне определены:

— поле зрения инструмента должно быть не менее нескольких (желательно не менее шести-восьми) квадратных градусов;

— проникающая способность не хуже  $23^m$  при экспозициях не более нескольких десятков секунд. Это означает, что апертура телескопа должна быть не менее 1—2 м. Для космических телескопов ИК-диапазона она может быть меньше, так как астероиды большую часть поглощаемой ими солнечной энергии переизлучают в ИК-диапазоне ( $\lambda = 5—15$  мкм);

— время обзора всей доступной области небесной сферы — несколько суток;

— количество ясных ночей с хорошим качеством изображения должно быть большим (для наземных телескопов);

— необходимо очень мощное компьютерное оборудование и математическое обеспечение для получения оперативной информации о новых объектах в течение ночи и окончательной обработки до начала следующей ночи;

Подобные телескопы сложны в создании и поэтому весьма дороги (см. ниже), но таких телескопов не должно быть очень много. При разумном географическом распределении достаточно полдюжины телескопов такого класса для выполнения задачи дальнего обнаружения ОНТ размером более 50 м.

Теперь перечислим главные требования к телескопам для обнаружения ОНТ размером от 10 м в околоземном пространстве. «Околоземное» означает, что расстояния от Земли обнаруживаемых объектов составляет до 1 млн км. При этом обеспечивается время упреждения от нескольких часов до нескольких суток. Оптимальные параметры таких систем обнаружения также вполне определены:

— поле зрения инструмента должно быть не менее десяти квадратных градусов;

— проникающая способность не хуже  $V = 17^m$  при экспозициях не более 10 с. Это означает, что апертура телескопа должна быть не менее 0.3—0.5 м в зависимости от режима наблюдений (сканирование или прямое наведение);

— основные средства — видимого диапазона, хотя для космических телескопов ИК-диапазон очень перспективен.

— время обзора необходимого для решения задачи обнаружения ОНТ участка небосвода — не более 1—2 ч;

— необходимы высокоскоростные линии связи (это проблема в случае использования телескопа космического базирования), мощное компьютерное оборудование (возможно, на борту космического аппарата) и математическое обеспечение для получения оперативной информации о новых объектах в течение 1—2 ч.

Наземные телескопы такого типа вполне недороги в изготовлении, но таких телескопов для организации эффективной наземной сети должно быть много (наша оценка — порядка сотни, опять же при достаточно разумном географическом распределении).

В качестве примеров современных крупных (действующих и перспективных) специализированных наземных инструментов, пригодных для дальнего обнаружения опасных объектов, приведем широко известные американские проекты: уже работающий 1.8-м широкоугольный телескоп PS1 (проект Pan-STARRS, [7]) и перспективный 8-м LSST [9]. Это весьма затратные проекты. Стоимость PS1 превышает 100 млн долл., оценка стоимости LSST приближается к 1 млрд долл.

В 2016 г. в Институте солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЗФ СО РАН) ожидается ввод в строй современного телескопа АЗТ-33ВМ. Его параметры лишь немного уступают параметрам телескопов Pan-STARRS. АЗТ-33ВМ имеет относительное отверстие 1:3.5, линейный размер поля зрения — 280 мм [2]. При поле зрения около  $2.8^\circ$  и диаметре главного зеркала 1.6 м этот телескоп будет способен обнаруживать объекты  $23^m$  за минутную экспозицию. Телескоп строится на предприятии ЛОМО. Общий вид конструкции телескопа показан на рис. 2, любезно предоставленном М. Еселевичем.

Для решения задачи обнаружения ОНТ в ближнем космическом пространстве в мире развивается программы создания «скромных по размерам», но более оперативных систем. Приведем несколько примеров. В США астрономы Гавайского университета получили 5-миллионный грант от НАСА на создание системы ATLAS (The Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System — система последнего предупреждения о столкновении астероида с Землей). Расположенные в пяти-шести местах на Земле системы, имеющие на общей монтировке от двух до четырех 50-см широкоугольных телескопов, должны предупреждать о возможных столкновениях с астероидами размером порядка 50 м не позднее чем за неделю до столкновения, а с астероидами 140 м — не позднее чем за три недели [10, <http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/ATLAS/>]. В последнее время проявились тенденции по созданию национальных и региональных центров по проблеме АКО в восточно-азиатском регионе (Китай, Япония, Южная Корея). В Украине и России наблюдения с целью обнаружения опас-

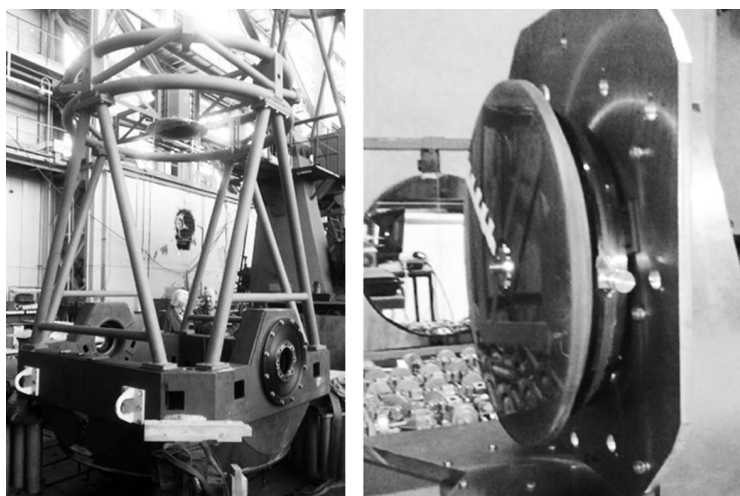


Рис. 2. Рабочие моменты строительства телескопа АЗТ-33ВМ

ных астероидов и комет проводятся, главным образом, по программам исследований в академических и ВУЗовских обсерваториях: часть телескопов ISON (Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша Российской академии наук [3]), некоторые телескопы сети МАСТЕР (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, [11]). Свой вклад вносит Научно-исследовательский институт астрономии Харьковского национального университета им. В. Н. Каразина. Есть перспективы использования инструментов Международного центра астрономических и медико-экологических исследований Национальной академии наук Украины (обсерватория на пике Терскол) [6]. В качестве наблюдательных средств используются малоапертурные оптические телескопы (до 80 см). Такие инструменты могут быть эффективны для массового обнаружения ОНТ в околоземном пространстве. Очень важно здесь сохранить и по возможности развить существующую кооперацию, а также войти в создаваемую ныне кооперацию — глобальный международный проект IAWN (International Asteroid Warning Network) под эгидой ООН.

Также разрабатываются системы космического базирования для обнаружения ОНТ. Такие системы имеют значительные преимущества перед наземными средствами. Основное преимущество космических систем — возможность проводить наблюдения в гораздо большей области неба, включая область внутри орбиты Земли и даже область за Солнцем при использовании удалённого от Земли КА, меньший фон неба, возможность круглосуточной работы. Недостатки — относительная дороговизна и меньшая надёжность, поскольку обслуживание и ремонт космических аппаратов встречаются с большими практическими трудностями. Поэтому эпоха использования космических средств обнаружения ОНТ только начинается.

Диапазон предложений по новым космическим проектам широк: от небольших инструментов, аналогичных упомянутым выше, до

крупных космических телескопов (см. очень содержательный отчет Американской академии наук «Committee to review near-Earth object surveys and hazard mitigation strategies. Defending planet Earth: Near-Earth object surveys», а также работы [4, 12—14]. Недавно в работе [5] предложен проект 40 см космического телескопа, способного обнаруживать тела, приходящие с дневного неба. Это невозможно сделать, ни наземными ни околоземными средствами, но вполне реализуемо с помощью сравнительно скромного оптического телескопа, помещённого в окрестность точки либрации L1 в системе Солнце — Земля.

1. *Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра* / Под ред. Б. М. Шустова, Л. В. Рыхловой. — М.: Физматлит, 2010.—384 с.
2. Камус С. Ф., Пименов Ю. Д., Тергоев В. И., Панушев П. Г. Светосильный широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ // Оптич. журн.—2009.—76, вып. 10.—С. 48—51.
3. Молотов И. Е., Агапов В. М., Куприянов В. В. и др. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений // Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулковке.—2009.—Вып. 1.—С. 233—248.
4. Шугаров А. С., Шустов Б. М., Мартынов М. Б. и др. О концепции экономичной космической системы обнаружения опасных небесных тел // Космич. исслед.—2015.—53, № 2.—С. 95—104.
5. Шустов Б. М., Шугаров А. С., Нароенков С. А., Прохоров М. Е. Астрономические аспекты космических угроз: новые задачи и подходы к проблеме астероидно-кометной опасности после челябинского события 15 февраля 2013 г. // Астрон. журн.—2015.—92, № 10.—С. 867—880.
6. Яцкив Я. С., Рыхлова Л. В., Тарадий В. К. Астрономия в Приэльбрусье // Кинематика и физика небес. тел.—2016.—32, № 5.—С. 3—10.
7. Chambers K. C. PanSTARRS telescope #1 status and science mission PANSTARRS // Bull. Amer. Astron. Soc.—2009.—41.—P. 270.
8. Harris A. W., D'Abramo G. The population of near-Earth asteroids // Icarus.—2015.—257.—P. 302—312.
9. Izvezic Z., Axelrod T., Brandt W. N., et al. Large synoptic survey telescope: from science drivers to reference design // Serbian Astron. J.—2008.—176.—P. 1—13.
10. Jedicke R. T. J., Veres P. F. D., Spoto F., et al. ATLAS: Asteroid terrestrial-impact last alert system. — American Astronomical Society, DPS meeting N 44.—2012.—id. 210.12.
11. Kornilov V. G., Lipunov V. M., Gorbovskoy E. S., et al. Robotic optical telescopes global network MASTER II. Equipment, structure, algorithms // Experimental Astron.—2012.—33, N 1.—P. 173—196.
12. Laurin D., Hildebrand A., Cardinal R., et al. NEOSSat: a Canadian small space telescope for near Earth asteroid detection // Proc. SPIE.—2008.—7010.—P. 701013-12.—(Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter / Eds J. M. Oschmann, M. W. M. de Graauw, H. A. MacEwen).
13. Lu E. T., Reitsemá H., Troeltzsch J., Hubbard S. The B612 foundation sentinel space telescope // New Space.—2013.—1.—P. 42—45.
14. Mainzer A., Bauer J., Grav T., et al. Small body science with WISE/NEOWISE // Proc. Conf. Asteroids, Comets, Meteors.—2012.—id. 6087.

Статья поступила в редакцию 01.12.15