

## Найти опасный астероид, пока он не нашел нас

Б.М. ШУСТОВ,  
член-корреспондент РАН

С.А. НАРОЕНКОВ,  
кандидат физико-математических наук  
Институт астрономии РАН

---

**Представляем читателю статью об астероидно-кометной опасности (АКО). Эта тема популярна в СМИ, которые используют ее для привлечения внимания, часто преувеличивая опасность и некорректно представляя факты. На самом деле проблема АКО в последние годы находится в центре внимания как фундаментальной, так и прикладной науки, а ее самая актуальная составляющая – задача обнаружения опасных небесных тел (ОНТ) – пожалуй, одна из главных практических**



**ких задач, стоящих перед современной астрономией. В представленной статье авторы, работающие в этом**



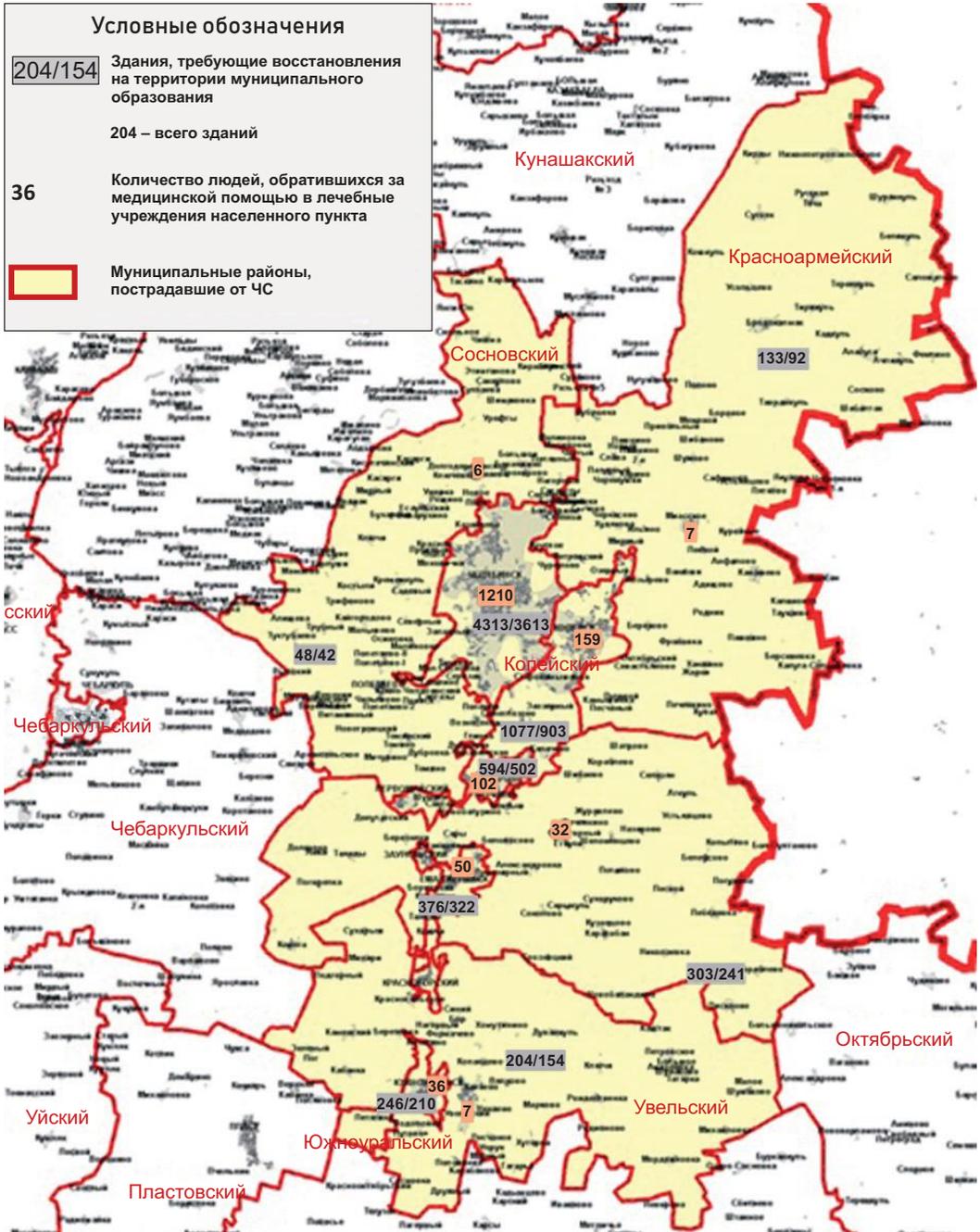
**направлении, рассматривают проблему поиска ОНТ и методы ее решения, опираясь на свой и мировой опыт.**

ЧТО ТАКОЕ АСТЕРОИДНО-КОМЕТАЯ ОПАСНОСТЬ

Астероидно-кометная опасность – это угроза столкновения Земли с малыми телами Солнечной системы

(астероидами и кометами) с причинением серьезного ущерба населению планеты, вплоть до уничтожения цивилизации. Это – весьма серьезная научная проблема, да и не только научная.

На рубеже XX и XXI вв. произошла существенная переоценка ее значимости (Земля и Вселенная, 2003, № 2). Долгое время проблема АКО была предметом изучения для узкого круга специалис-



Карта разрушений остекления окон и дверей на территории Челябинской области. По материалам МЧС.

тов, но теперь она осознается гораздо более широко как комплексная глобальная проблема, стоящая перед человечеством. Причина такого драматического изменения состоит в том, что накопилась некоторая критическая масса фундаментальных знаний о населении малых тел в Солнечной системе, об их динамической и физической эволюции (в частности, о механизмах пополнения популяции опасных тел), о частоте столкновений малых тел с планетами (в особенности с Землей), о возможных последствиях их падений. В России ученые и специалисты уделяют этой проблеме все большее внимание. Сравнительно полное описание проблемы АКО можно найти в монографии "Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра" (ред. Б.М. Шустов и Л.В. Рыхлова, Физматлит, 2010 г.; Земля и Вселенная, 2011, № 3) и в написанной так же группой авторов под руководством Б.М. Шустова монографии "Астероидно-кометная опасность: стратегия противодействия" (ред. В.А. Пучков, ВНИИ ГОЧС, 2015 г.).

Наиболее ярким недавним проявлением реальности проблемы АКО стало Челябинское событие 15 февраля 2013 г., когда в атмосферу Земли над территорией Челябинской области вошло космическое тело размером около 17 м (Земля и Вселенная, 2014, № 5). Этот "вход"

наблюдался как явление "болида", оно сопровождалось сильным взрывом, воздушной ударной волной, световым и электромагнитным излучением, сейсмическим и акустическим возмущением. Общий ущерб был значителен (до 1 млрд рублей); за медицинской помощью обратились более 1600 человек. Площадь поражения была значительной.

Это было событие, изменившее отношение к проблеме АКО со стороны многих людей в России и за рубежом, в том числе и со стороны государств. Изменилось представление о том, какие тела считать опасными. Перед учеными и специалистами встала задача создания эффективной системы предупреждения о столкновениях с ОНТ размером от 10 м и более и разработки методов противодействия угрозе.

В этой работе авторы представляют современное состояние проблемы обнаружения ОНТ и предлагают методы ее решения, опираясь на свой (Института астрономии РАН) и мировой опыт.

КАКИЕ ТЕЛА  
СЧИТАТЬ ОПАСНЫМИ?

Задача обнаружения ОНТ – первоочередная и, пожалуй, одна из главных практических задач, стоящих перед современной астрономией. В представленной ниже таблице в общей форме даны оценки частоты столкновений малых тел раз-

личного размера с Землей и их последствий. На первый взгляд, наиболее опасны тела большого размера, но такие тела падают на Землю очень редко (реже, чем раз в несколько миллионов лет). Для человеческого вида (*Homo sapiens*), существующего лишь около 100 тыс. лет, такие исключительные события представляют в основном «академический» интерес. Наибольший же практический интерес представляют более частые падения тел, в диапазоне размеров от 10 до 500 м. Это – уже достаточно крупные тела, которые могут причинить значительный ущерб, и их падения на "шкале существования человечества" – не редкость. Они находятся в зоне основного интереса в отношении противодействия угрозе для тех, кто занимается проблемой АКО.

Под опасными небесными телами мы обычно понимаем не только те довольно крупные тела, которые "гарантированно" столкнутся с Землей. Если вероятность столкновения с небесным телом достаточно велика, то его также относят к ОНТ. Существуют общепринятые количественные критерии определения некоторых классов и подклассов ОНТ. Так, под объектами, сближающимися с Землей (ОСЗ, в англоязычной литературе NEO – Near Earth Objects), понимают астероиды и кометы с орбитами, для которых расстояние в перигелии  $q < 1,3$  а.е. Для астероидов,

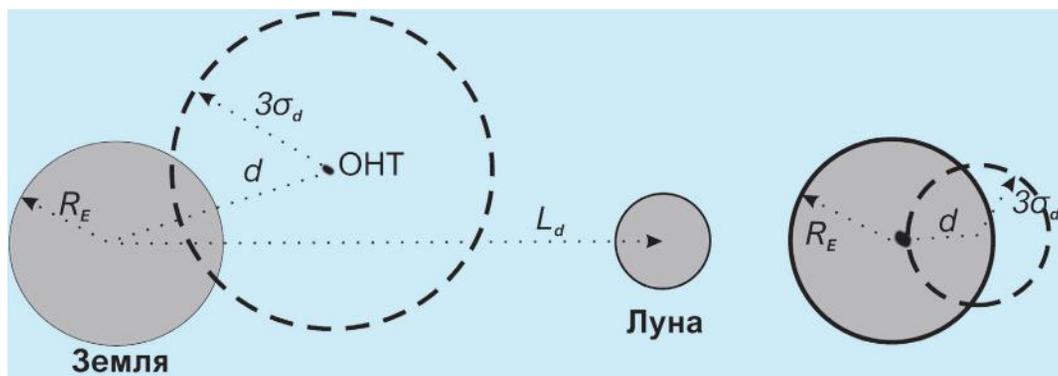
**Средняя частота и результаты столкновений малых тел  
различных размеров с Землей**

Космический объект	Размер	Характерный промежуток времени между столкновениями	Размер кратера, км	Результат столкновения с Землей (пример)
Пылинка, микрометеороид	менее 0,1 см	практически непрерывно		Сгорает в атмосфере (метеор) или "выпадает" на планету
Метеороид, астероид, комета	0,1 см – 1 м	практически ежедневно		Сгорает в атмосфере (болид)
	1 – 30 м	несколько месяцев		Остатки долетают до Земли (метеорит), либо разрушаются и полностью сгорают в атмосфере
	более 30 м	около 300 лет	нет	Воздушный взрыв (Тунгусское событие)
			более 0,5	Поверхностный взрыв (Аризонский кратер) Локальная катастрофа
Астероид или комета	более 100 м	несколько тысяч лет	более 2	Наземный или подводный взрыв Региональная катастрофа
	более 1 км	более 1 млн лет	более 20	Глобальная катастрофа
	10 км	100 млн лет	200	Конец цивилизации

сближающихся с Землей, используют аббревиатуру АСЗ (в англоязычной литературе – NEA), для комет – КСЗ. В классе ОСЗ выделяют потенциально опасные объекты (ПОО, в англоязычной литературе РНО – Potentially Hazardous Objects, в том числе ПОА – потенциально опасные астероиды), под которыми понимают тела, чьи орбиты сближаются с орбитой Земли до минимального расстояния, не превышающего 0,05 а.е., то есть до 7,5 млн км. Основанием для

того, чтобы считать такие тела опасными, является то обстоятельство, что в таких пределах можно ожидать изменения расстояний между орбитами малого тела и Земли в обозримом будущем (100–200 лет) под влиянием гравитационных возмущений от планет. Кроме того, 0,05 а.е. – характерный масштаб области неопределенности орбиты малого тела (при прогнозировании примерно на сто лет вперед) вследствие неточного знания параметров движения тела в

настоящую эпоху. К этому (динамическому) определению ПОО в мировой литературе добавляют требование, чтобы абсолютная звездная величина астероида  $H$  тела не превосходила 22,0 (см., например: <http://neo.jpl.nasa.gov/neo/groups.html>). Заметим, что  $H$  – это некоторая искусственная величина, поскольку она определяется как звездная величина астероида, наблюдаемого с расстояния 1 а.е. от Земли и от Солнца при нулевом фазовом угле (нет эффекта фазы),



Классификация сближений опасных небесных тел с Землей. Слева – угрожающее, справа – столкновительное сближение.  $R_E$  – радиус Земли,  $d$  – расстояние от ОНТ до центра Земли,  $L_d$  – диаметр орбиты Луны,  $3\sigma_d$  – размер зоны рассеяния орбит.

но в реальной ситуации астероид на таких расстояниях не может наблюдаться при нулевом фазовом угле! Для некоторой (средней для астероидов) величины альбедо, равной 0,15 размера сферического тела, имеющего  $H = 22,0$ , оценивается примерно в 140 м.

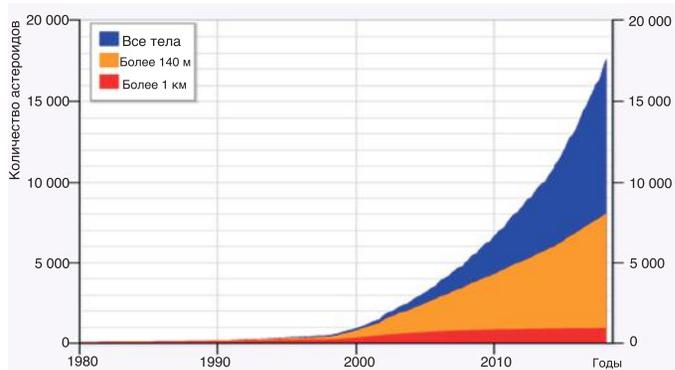
Мы полагаем, что в современных условиях и этой классификации уже не достаточно. Пора изменить нижнюю границу в определении ПОО и рассматривать в качестве ПОО тела размером от 50 м (размер Тунгусского тела) или даже от 10 м (практический нижний предел, "подтвержденный" Челябинским событием). Кроме уточнения нижней границы размеров опасного тела авторы статьи ввели дополнительные определения динамических (орбитальных) классов ОНТ. Предлагается называть ОНТ (и, соответственно, их

орбиты) угрожающими, если, с одной стороны, оценка минимального расстояния  $d$  от ОНТ до центра Земли не превышает радиуса  $L_d$  лунной орбиты, то есть  $d < L_d$ ; а, с другой стороны, размер (радиус)  $3\sigma_d$  зоны рассеяния орбит в плоскости цели (плоскости, проходящей через центр Земли и перпендикулярной направлению орбиты опасного тела) превышает расстояние до поверхности Земли  $d - 3\sigma_d < R_E$ , где ( $R_E$  – радиус Земли), и столкновительными, если выполняются условия:  $d < R_E$  и  $3\sigma_d < R_E$ . Это, последнее, определение не вполне строго соответствует неизбежности столкновения, так как вероятность столкновения для такого тела (орбиты) несколько меньше 50%. Но, конечно, все мероприятия по противодействию будут такими же, как и в случае 100% вероятности столкновения.

#### ПРОБЛЕМА ПОИСКА ОНТ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ

Первоочередной задачей является решение проблемы обнаружения ОНТ. В современной трактовке она рассматривается как задача оперативного и массового (то есть не ниже некоторого порога полноты, обычно 90%) выявления опасных тел. Регулярные наблюдения (мониторинг, в англоязычной литературе также используют термин follow up) как новых, так и найденных ранее опасных объектов должны обеспечить уточнение их орбит и максимально полное исследование физических свойств. Это важно для надежной оценки вероятности и последствий столкновения. Как мы увидим ниже, несмотря на быстрый прогресс в обнаружении ОНТ, проблема остается очень далекой от решения.

Диаграмма роста числа обнаруженных околоземных астероидов за период с 1980 по 2018 гг. Красным показан рост числа крупных АСЗ размером более 1 км, синим – общее число АСЗ. Рисунок с сайта: <http://neo.jpl.nasa.gov/stats/>.



До середины 1990-х гг. обнаружение опасных тел осуществлялось либо в рамках отдельных астрономических программ исследований астероидов и комет, либо случайно. Прогресс в открытии новых ОНТ принято иллюстрировать хорошо известной и постоянно обновляющейся диаграммой с сайта: <http://neo.jpl.nasa.gov/stats/>. На 5 февраля 2018 г. насчитывалось 17 652 АСЗ, из них потенциально опасных астероидов – 1886. Комет, сближающихся с Землей, – 107, но ни одна из них не является потенциально опасной. Из этих данных следует, что кометы составляют лишь малую часть ОНТ и в дальнейшем при рассмотрении общей ситуации по проблеме АКО можно ограничиться именно астероидами. Из этих данных и из результатов моделирования "населения" малых тел Солнечной системы можно сделать еще несколько выводов:

– темп обнаружения АСЗ стремительно возрос, начиная с 1998 г. Это связано с началом реализации специальной программы "Космическая стража" (Spaceguard Survey), которая получила финансовую поддержку со

стороны Конгресса США. NASA поручалось приложить усилия к тому, чтобы в течение 10 лет открыть не менее 90% крупных (более 1 км) АСЗ. К концу 2009 г. задача была выполнена. Это – хорошая иллюстрация эффективности государственной поддержки при решении таких важных задач:

– хотя количество известных крупных АСЗ изменяется мало и практически все они уже обнаружены, но общее количество обнаруженных АСЗ продолжает быстро расти;

– доля обнаруженных АСЗ к общему числу АСЗ этого размера очень существенно зависит от размера АСЗ: для тел крупнее 1 км она близка к 95%, для пятидесятиметровых (Тунгусское тело) – примерно 1%, а для объектов меньшего размера (например, Челябинское тело) доля обнаруженных АСЗ крайне мала.

ПОЧЕМУ ЖЕ МЫ ТАК СЛАБО ИНФОРМИРОВАННЫ?

Главная проблема – в инструментах для наблюдений. Там, где строитель-

ству специализированных инструментов уделяется серьезное внимание, там и достигнут наибольший прогресс в поиске ОНТ. По данным финансируемого NASA Центра малых планет при Международном астрономическом союзе (<http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html>), большинство ОНТ (более 98%) обнаружены с помощью наблюдательных средств США. Особо показателен рост "вклада" телескопа PS1 (Pan-STARRS), с помощью которого осуществляется половина всех открытий. Доля участия российских обсерваторий в обнаружении АСЗ пока что очень мала (менее 0,1%). Далее мы расскажем, что же делается в нашей стране для преодоления отставания.

КАКИЕ ТЕЛЕСКОПЫ НУЖНЫ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОНТ?

В мире построено уже довольно много крупных астрономических телескопов, но они, к сожалению, не годятся для решения задач массового



*Американский телескоп Pan-STARRS-1 (диаметром зеркала 1,8 м) для поиска опасных небесных тел в башне. Телескоп расположен на Гавайях. Фото обсерватории Pan-STARRS.*

поиска ОНТ из-за малого поля зрения. Для создания современной системы обнаружения необходимо создавать специальные инструменты.

Современные представления о решении задачи поиска подразумевают наличие двух направлений:

- заблаговременное обнаружение крупных ОНТ (размером более 50 м) со временем упреждения в несколько десятков суток, достаточным для обеспечения возможности активного противодействия;

- обнаружения ОНТ в околоземном космическом пространстве (ОКП), то есть в зоне радиусом 1 млн км от Земли. Основная цель – выявить ОНТ размером более 10 м в ОКП со временем упреждения от 4 до 20 ч, достаточным для "выдачи" предупреждения.

Перечислим главные требования к системам, предна-

значенным для обнаружения крупных ОНТ (более 50 м) на больших расстояниях. Оптимальные параметры таких систем вполне определены:

- поле зрения инструмента должно быть не менее нескольких (желательно десяти) квадратных градусов;

- проникающая способность не хуже  $22^m$ , при экспозициях – не более нескольких десятков секунд. Это означает, что апертура телескопа должна быть не менее 1–2 м; для космических инфракрасных телескопов она может быть меньше, так как астероиды большую часть поглощаемой ими солнечной энергии "переизлучают" в ИК-диапазоне (5–15 мкм);

- время обзора всей доступной области небесной сферы – несколько суток;

- большое количество ясных ночей с хорошим каче-

ством изображения (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.

В качестве примера современных крупных специализированных наземных инструментов, пригодных для обнаружения опасных объектов, приведем телескопы известного проекта американской системы из 4 телескопов "Pan-STARRS" (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System – система телескопов панорамного обзора и быстрого реагирования). Каждый из телескопов (пока работают два) имеет апертуру 1,8 м и большое поле

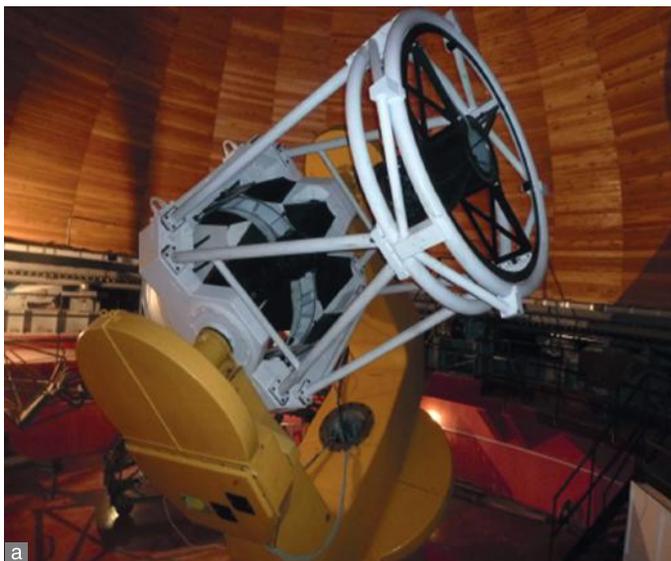
Телескоп АЗТ-33ВМ Института солнечно-земной физики СО РАН, расположенный на обсерватории "Монды" ИСЗФ СО РАН (а) и одно из первых, полученных с помощью телескопа АЗТ-33ВМ, изображений спиральной галактики М33 (NGC 598) в Треугольнике (б). Фото ИСЗФ СО РАН.

зрения ( $3^\circ$ ), ПЗС-приемник имеет огромные размеры – 1,4 млрд пикселей. Проникающая сила телескопа при экспозиции 60 секунд составляет  $24^m$ . В режиме обзорного поиска эти телескопы будут способны "покрыть" всю доступную площадь неба трижды в течение месяца.

В России в Институте солнечно-земной физики СО РАН для обнаружения АСЗ "на дальних подступах" начал работу телескоп АЗТ-33ВМ, созданный на предприятии ЛОМО. Его параметры лишь немного уступают параметрам телескопов "Pan-STARRS". Имея поле зрения около  $3^\circ$  и диаметр главного зеркала 1,6 м, этот телескоп будет способен "увидеть" объекты 24-й видимой звездной величины за экспозицию в 2 мин. В 2016 г. начата опытная эксплуатация телескопа, но он пока не полностью оснащен приемниками излучения. Это важная проблема, которую нужно решать незамедлительно.

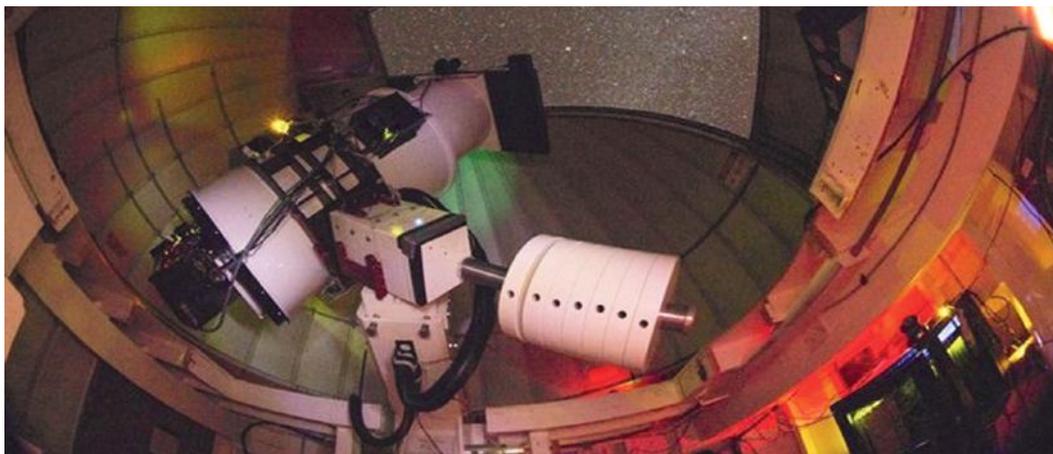
Теперь перечислим главные требования к телескопам для обнаружения ОНТ размером от 10 м в ОКП:

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



- проникающая способность не хуже  $17^m$  при экспозициях не более 10 с (апертура телескопа должна быть не менее 0,3–0,5 м, в зависимости от режима наблюдений – сканирование или прямое наведение);

- рабочий диапазон длин волн – видимый, хотя для космических телескопов очень перспективен ИК-диапазон;
- время однократного обзора доступного участка небесной сферы, необходимое для обнаружения ОНТ, не более 1–2 ч;



*Телескоп "ATLAS-2", принадлежащий Институту астрономии Гавайского университета; расположен на вулкане Мауна-Лоа (Гавайи). Фото Гавайского университета.*

– необходимы высокоскоростные линии связи с космическим аппаратом (в случае использования телескопа космического базирования), мощное компьютерное оборудование (возможно, на борту космического аппарата) и математическое обеспечение для получения оперативной информации о новых объектах также в течение 1–2 ч;

– для космических средств может быть поставлено требование – обнаруживать тела, "приходящие" с дневного неба.

В мире для решения задачи поиска ОНТ в ближнем космическом пространстве развиваются программы создания скромных в размерах, но более оперативных систем. Например, в США создаются и уже начали работать телескопы системы "ATLAS" (The Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System – система

последнего предупреждения о столкновении астероида с Землей). В полном варианте предлагается разместить в 5–6-ти местах на Земле системы, имеющие на общей монтажке от двух до четырех 50-см широкоугольных телескопов (<http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/ATLAS/>). Предполагается, что обзор всей доступной области неба будет осуществляться ежесуточно. Система будет наиболее эффективна для задач обнаружения ОНТ в околоземном космическом пространстве, хотя объекты крупнее 100 м будут регистрироваться примерно за 10 суток на расстояниях в десятки миллионов километров и более.

В России наблюдения с целью обнаружения ОНТ проводятся, главным образом, по программам исследований в обсерваториях РАН и

в вузовских обсерваториях. Часть телескопов академической сети ISON работает по разрешению и с поддержкой госкорпорации «Роскосмос», однако основная задача этой сети – наблюдения за космическим мусором. В последнее время по этой тематике начала работать сеть "МАСТЕР" (МГУ им. М.В. Ломоносова; Земля и Вселенная, 2011, № 3), создававшаяся и успешно используемая для астрофизических наблюдений – мониторинга космических гамма-вспышек. Обе сети "используют" в качестве наблюдательных средств малоапертурные оптические телескопы (до 50 см). Такие инструменты могут быть эффективны для обнаружения ОНТ в околоземном пространстве, но пока они используются для наблюдений АСЗ лишь эпизодически. Координация между сетями

Проект разрабатываемой в ИНАСАН обзорной системы мониторинга околоземного пространства "INF" с помощью роботизированной мультиапертурной системы, состоящей из широкоугольных телескопов VT-78d.

Рисунок ИНАСАН.



(группами) практически отсутствует.

В Институте астрономии РАН разработана концепция обзорной системы мониторинга околоземного пространства "INF" (INASAN Neo Finder – поиск ОСЗ ИНАСАН) на основе системы (кластера) широкоугольных телескопов VT-78d (апертура – 25 см, поле зрения – 78 квадратных градусов). Система из 8-ми роботизированных телескопов будет способна в среднем за 20 ч до столкновения с Землей обнаружить тела размером от 10 м. Помимо решения этой, основной, задачи перспективный кластер способен решать дополнительные научные задачи: наблюдения источников гравитационных волн, гамма-вспышек. Пока ведется работа над прототипом системы.

#### ОБНАРУЖЕНИЕ ОНТ НА ДНЕВНОМ НЕБЕ

За рубежом и в России разрабатываются системы космического базирования для поиска опасных небесных тел, такие системы имеют значительные преимущества перед наземными средства-

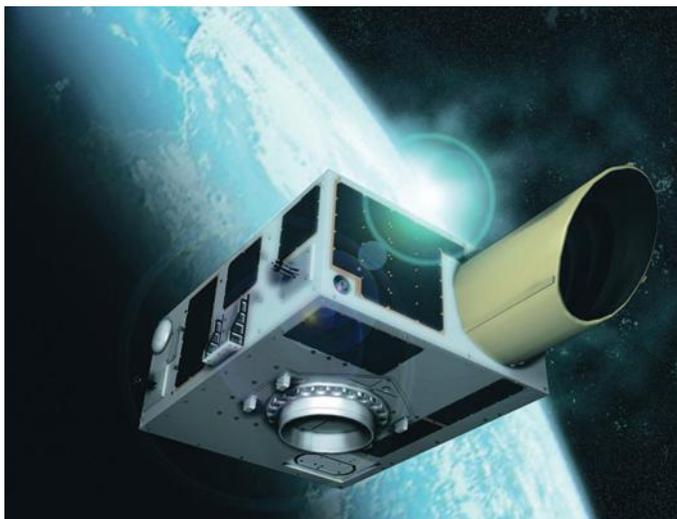
ми. Важные преимущества космических систем: возможность проводить наблюдения в гораздо большей области неба, включая пространство "внутри" орбиты Земли и за Солнцем (при использовании удаленного от нашей планеты космического аппарата); меньший фон неба; возможность круглосуточной работы. Недостатки космических систем: относительная дороговизна и меньшая надежность, поскольку их обслуживание и ремонт связан с большими трудностями. Поэтому космические средства обнаружения ОНТ только начинают использоваться.

Один из примеров таких средств – канадский микроспутник "NEOSSat" (The Near Earth Object Surveillance Satellite – спутник для наблюдений околоземных объектов) массой 74 кг, запущенный на орбиту в феврале

2013 г. Он используется для наблюдений АСЗ с блеском до 20<sup>m</sup> и диаметром более 500 м, орбиты которых "лежат" внутри орбиты Земли; успешно участвовал в кампании по наблюдениям астероида 2012 TC4. Спутник способен вести непрерывную съемку пространства в пределах 45–55° от Солнца, а также в областях до 40° ниже и выше плоскости эклиптики.

Наземные телескопы и телескопы, размещенные в ближнем космосе, не способны обнаруживать тела, "приходящие" с дневного неба. Челябинское событие 15 февраля 2013 г. послужило подтверждением этого принципиального факта. Для того, чтобы наблюдать такие астероиды, нужны телескопы, удаленные от Земли на значительное расстояние.

В ИНАСАН разработана концепция системы



*Канадский микроспутник "NEOSat" на околоземной орбите. Рисунок Канадского космического агентства.*

СОДА (Система Обнаружения Дневных Астероидов) для поиска "опасных" небесных тел, "приходящих" с дневного неба. Главная идея состоит в следующем: космическая система состоит из 1–2-х космических аппаратов, размещенных в окрестности точки Лагранжа L1 (в системе Земля–Солнце) на расстоянии около 1,5 млн км от Земли; телескоп, находящийся в окрестности точки L1, будет "видеть" ОНТ, летящие к Земле от Солнца, при благоприятных для наблюдений значениях фазового угла. При этих условиях видимая звездная величина ОНТ размером 10 м на расстоянии 1 млн км составит 17<sup>m</sup>. Предварительный анализ этих условий показывает, что задача обнаружения декаметровых ОНТ, летящих со стороны Солнца (при условии размещения телескопа в точке L1) может быть решена с помощью относи-

тельно небольшого телескопа с апертурой около 0,3 м.

Главный режим работы космической обсерватории для обнаружения ОНТ, летящих со стороны Солнца, – регулярный обзор кольцеобразной области небесной сферы с центром в направлении на Землю. При этом просматривается конусный барьер – конусообразное пространство, образуемое полем зрения вращающегося телескопа. Таких барьеров может быть несколько. Сначала опасное тело наблюдается при пересечении барьера(ов), затем обнаруженный астероид постоянно наблюдают до сближения с Землей, что позволяет максимально уточнить его орбиту и определить возможное место падения. Наблюдения прекращаются примерно за 4 ч до возможного столкновения (это соответствует, при скорости сближения, равной 19 км/с, расстоянию от Земли – около 270 тыс. км).

Авторы статьи считают оптимальным вариант из двух космических аппаратов, "разнесенных" по гало-орбите вокруг точки L1. Такая конфигурация позволит использовать режим триангуляции и существенно увеличить точность определения орбиты ОНТ, а значит, и точность определения точки "входа" в атмосферу, если орбита столкновительная.

#### О КООПЕРАЦИИ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ОНТ

В России важная проблема обнаружения ОНТ пока не решается эффективно, на системном уровне. Назовем две главные взаимосвязанные проблемы – отсутствие базовой финансовой поддержки от государства (в отличие от США, ESA, Китая, Южной Кореи) и эффективной кооперации. Экспертная рабочая группа по космическим угрозам при Совете РАН по космосу (руководитель группы Б.М. Шустов) подготовила несколько вариантов проектов общегосударственной программы по созданию национальной системы противодействия космическим угрозам, включая АКО. Дальнейшая судьба этих предложений пока не ясна.

Проблема АКО, по сути, глобальная и для ее решения необходимы усилия многих стран, и такая работа ведется. Под эгидой ООН кооперацией астрономических институтов и других организаций выполняется проект "IAWN" (International Asteroid Warning Network – международная сеть предупреждения об опасных астероидах). ИНАСАН участвует в работе сети, начиная с 2016 г. В рамках международного сотрудничества "IAWN" в 2017 г. был проведен наблюдательный эксперимент по обнаружению и последую-

щему наблюдению астероида 2012 TC4. На протяжении четырех месяцев астрономы из США, Канады, Колумбии, Германии, Израиля, Италии, Японии, Нидерландов, России и ЮАР отслеживали астероид с помощью наземных и космических телескопов в оптическом и радиодиапазонах с целью изучения его орбиты, формы, особенностей вращения и состава. Полученный в рамках кампании богатый наблюдательный материал позволил, в частности, точно рассчитать орбиту астероида 2014 TC4 и исключить

возможность столкновения объекта с Землей при последующих сближениях. Со стороны России наблюдения астероида 2012 TC4 были проведены Терскольским филиалом ИНАСАН на 2-м телескопе "Цейсс-2000". Успешное проведение кампании по наблюдениям астероида 2012 TC4 показало готовность ученых разных стран к участию в серьезном международном сотрудничестве по предотвращению потенциальной угрозы для Земли, исходящей от околоземных объектов и проде-

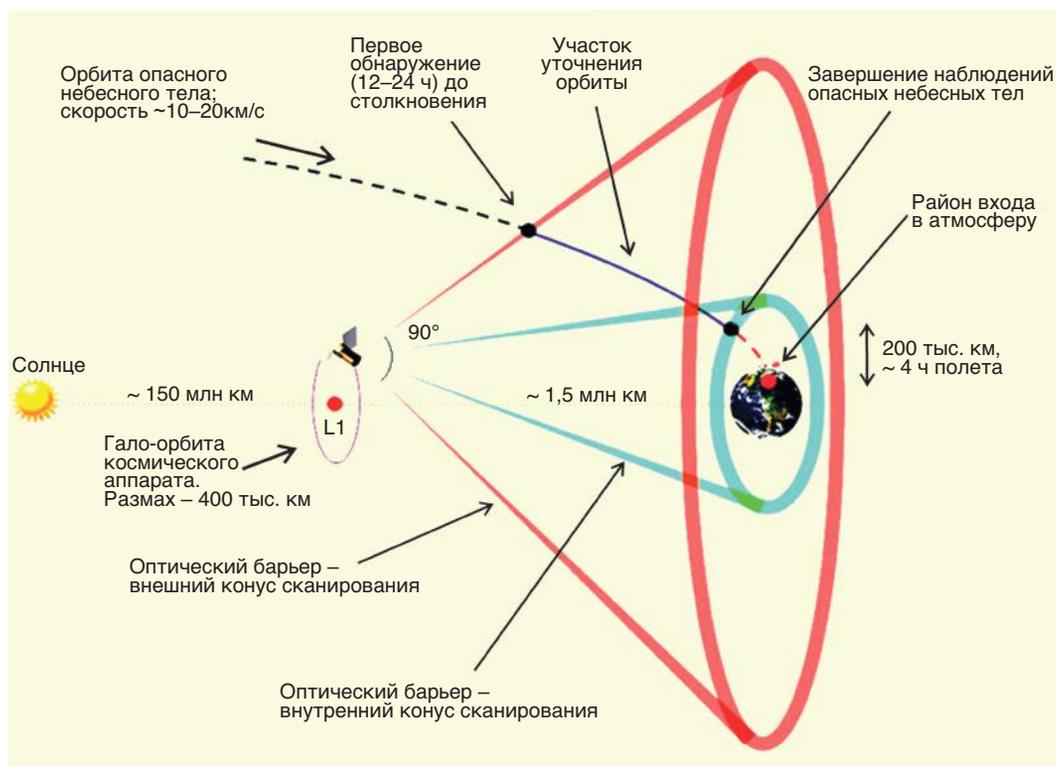


Схема работы обсерватории системы СОДА (ИНАСАН) в варианте, когда используется один космический аппарат. Оптимальное число конических барьеров – 3, но на рисунке показаны только 2 крайних барьера. Рисунок ИНАСАН.



Обсерватория Терскольского филиала ИНАСАН: а – башня; б – 2-м телескоп "Цейсс-2000", использовавшийся для наблюдения астероида 2012 TC4; в – фотография астероида 2012 TC4. Астероид (точечный объект) отмечен желтым кружком. Фото ИНАСАН.

монстрировало работоспособность сети "IAWN". В феврале 2018 г. в проект "IAWN" включились Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Крымская астрофизичес-

кая обсерватория РАН, Институт солнечно-земной физики СО РАН и Коровская обсерватория УрФУ.

Итак, российские научные центры готовы к рабо-

те по решению важной задачи обнаружения ОНТ, но для их эффективной работы как на внутрироссийском, так и на международном уровне необходима поддержка государства.

### Гипотеза о возможности обнаружения темной материи

Недавнее неожиданное открытие говорит о том, что ранняя Вселенная выглядела совсем не так, как считалось ранее. Ученые Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики доказали, что небольшая доля темной материи должна иметь слабый электрический заряд и имеет способность вступать в электромагнитное взаимодействие с обычной материей. В традиционной гипотезе высказано предположение о том, что темная материя обладает лишь силой гравитации.

Согласно разработанной несколько лет назад модели  $\Lambda$ CDM (Lambda-Cold Dark Matter – лямбда холодной темной материи), кроме обычной, барионной материи, из которой состоят звезды и галактики, Вселенная наполнена на 22% темной материей (Земля и Вселенная, 2006, № 1; 2010, № 1; 2012, № 5). Вывод о ее существовании был сделан на основе наблюдения за астрономическими объектами, которые вели себя так, словно на них влияет скрытая от прямого наблюдения масса. Предполагается, что темная материя взаимодействует с обычным

веществом только посредством гравитационных сил, поэтому ее нельзя обнаружить, регистрируя электромагнитное излучение.

В период с 2015 по 2018 гг. с помощью радиотелескопов проводилось сканирование небосвода: таким образом астрофизики надеялись уловить слабые сигналы от первых звезд во Вселенной, надеясь обнаружить следы воздействия звезд на окружающий их газ, находящейся на расстоянии более 13 млрд св. лет от нас. Исследования проводил международный коллектив ученых, выполнявших работу по программе EDGES (Experiment to Detect the Global EoR Signature – эксперимент по нахождению следов глобальной эпохи реионизации). Собранные данные показали, что спустя 200 млн лет после Большого взрыва температура барионной материи составляла лишь половину от теоретически предсказанных значений. Такой результат слабо согласуется со стандартной космологической моделью; однако его можно объяснить – допустив, что обычное вещество охлаждается при слабом электромагнитном взаимодействии с темной материей. Кроме того, космологи пришли к заключению, что ранний космос был гораздо холоднее, чем думали прежде.

Командой ученых EDGES собраны данные о нейтральном водороде, наполнявшем Вселенную в первые несколько миллионов лет после Большого взрыва. Этот газ поглощал электромагнитное излучение,

это привело к наступлению «темных веков», как космологи поэтически называют этот период (380 тыс. – 550 млн лет после Большого взрыва). Хотя космос был заполнен рассеянным фоновым светом и реликтовым излучением – послесвечением от Большого взрыва, но нейтральный газ поглощал его на определенных длинах волн.

Команда, работавшая по проекту EDGES, искала именно этот спектр поглощения, а он оказался гораздо более сильным, чем было возможно, по современным представлениям. Когда во Вселенной формировались первые звезды, то их энергия должна была разогреть газ. В итоге он достигал достаточно большой температуры и переставал поглощать реликтовое излучение. Сигналы о поглощении прекратились, и «темные века» закончились.

В соответствии с новой гипотезой, предполагают, что менее 1% темной материи все-таки имеет слабый электромагнитный заряд, который в миллион раз меньше заряда электрона. Подтверждение этого факта в том, что ударные волны от сверхновых в Млечном Пути должны выбросить за пределы галактического диска все слабо заряженные частицы, а сильное электромагнитное поле предотвращает их возвращение. Однако результаты наблюдений говорят о том, что в диске находится большое количество темной материи.

*Журнал «Nature»,  
2018. Т. 558. № 7694. С.  
182–185.*