

© Hubble Space Telescope Comet Team, H. Hammel, MIT and NASA

Астероидно-кометная опасность

Борис Шустров
Институт астрономии РАН

Об угрозе столкновения Земли с космическими телами слышал, наверное, каждый житель Земли. Во многих музеях можно полюбоваться «камнями, падающими с неба», т.е. метеоритами. О падениях или эффектных пролетах пришельцев из космоса в атмосфере Земли довольно часто сообщают телевидение и газеты. Эта тема нашла отражение даже в поэзии. Вот, например, как Семен Кирсанов описывает в своем стихотворении «Метеориты» типичные представления людей о столкновении Земли с метеорным (эксперты сказали бы точнее — с «метеороидным») потоком:

*O, милый мир веселых птичьих гнезд!
Их больше нет. Несчастная планета
Попала в дождь из падающих звезд
С диаметром от мили до полметра...
...Железо вылетает из небес.
А люди стекла круглые наденут
И шепчутся — а может быть, не здесь?
А может, пролетят и не заденут?*

В наши дни эта тема привлекает интерес огромного количества людей и, естественно, стала основой для создания фильмов-пугалок, телевизионных передач с какими-то очень странными экспертами, «сенсационных» статей в массовых изданиях и других действий, направленных, главным образом, на достижение благословленной цели извлечения из этого интереса максимальной прибыли. При этом для вящей привлекательности достоверная информация очень часто смешивается с таким количеством информационной прправы — рениксы, — что некоторые ученые и

технические эксперты стараются держаться от всего этого шума подальше. И зря. Именно ученые, и тем более астрономы, не имеют права уклоняться от своей просветительской функции.

Кстати чепуха-реникса (у Чехова некий гимназист получил на свою работу отзыв из одного слова «чепуха», но, думая, что это латынь, прочитал «реникса») для быстрейшего и легкого усвоения всегда подается ярко, без серьезных доказательств и тем более без научного анализа. К сожалению, в головах большинства людей, у которых нет ни времени, ни возможности, а часто и желания поразмыслить (это ведь труд, и еще какой!), именно вот такая чепуха и остается. Цель этой лекции — дать достоверную информацию о состоянии проблемы широкому кругу людей, интересующихся наукой. Это нужно и пора делать, тем более, что ситуация развивается стремительно.

Прежде всего отмечу, что астероидно-кометная опасность (АКО), т.е. угроза столкновения Земли с малыми телами Солнечной системы — весьма серьезная научная проблема, да и не только научная. На рубеже XX и XXI веков произошла существенная переоценка ее значимости. Долгое время проблема АКО была предметом изучения для узкого круга специалистов, 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 населенности Солнечной системы малыми телами, о динамической и физической эволюции этого населения, в частности, о механизмах пополне-



Рис. 1. Центральная горка кратера Вредефорт в Южной Африке, крупнейшего из известных земных кратеров. Трехсоткилометровая астроблема возникла 2 млрд. лет назад при столкновении Земли с астероидом, поперечник которого, вероятно, составлял около 10 км. Диаметр самой центральной горки — 50 км. Удар поднял на поверхность древнюю архейскую гранитную кору, при этом развернув ее почти вертикально. Спутниковая фотография © Earth Sciences and Image Analysis Laboratory, NASA JSC

ния популяции опасных тел, о частоте столкновений малых тел с планетами, в особенности с Землей, и т. д. Этот прорыв обусловлен, прежде всего, появлением новых наблюдательных технологий, специальными программами наблюдений, осуществлением космических проектов по исследованию малых тел Солнечной системы.

По теме АКО проводятся специальные конференции (по большей части международные), опубликованы уже тысячи научных статей и довольно много монографий. Список отечественных изданий приведен в конце лекции, в разделе «Литература». Для углубленного изучения одной из важных составляющих проблемы АКО — взаимодействия космических тел с Землей при столкновениях — рекомендуем сравнительно недавно изданную и весьма удачную монографию «Катастрофические воздействия космических тел» (ред. В.В. Адушкин, И.В. Немчинов). Наиболее всестороннее и современное освещение проблемы АКО проводится в книге «Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра» (ред. Шустов Б.М., Рыхлова Л.В.).

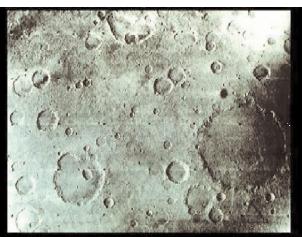
По своей сути проблема АКО — комплексная. В ней выделяют следующие основные составляющие:

1. Проблема обнаружения (выявления) всех опасных тел и определения их свойств.
2. Проблема противодействия и уменьшения ущерба.
3. Проблема кооперации в подходе к глобальной проблеме АКО.

Комплексный характер проблемы АКО обусловил многоплановость лекции, а сжатый объем — краткость изложения. Рассмотрены современные представления о свойствах малых тел Солнечной системы, существенные для обсуждаемой темы, проблемы обнаружения, мониторинга, выявления физических и химических свойств малых тел, представляющих потенциальную опасность. Конечно, не остались без внимания вопросы оценки уровня угрозы и возможных последствий



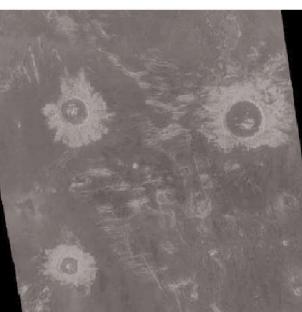
Кратер Оунга, Чад



Ударные кратеры на Марсе



Кратеры на Меркурии



Кратеры на Венере



Кратеры на астероидах



Кратеры на Луне

Рис. 2. Примеры ударных кратеров: на Земле (кратер Оунга диаметром 12,6 км, Чад), Марсе, Меркурии, Венере (изображения гигантских, размером более 100 км, кратеров получены с помощью радиолокаторов), астероидах и Луне. © NASA

падения тел на Землю, а также современные представления о способах защиты и сокращения ущерба. Также затронуты вопросы развития внутренней и международной кооперации по этой глобальной проблеме.

В чем опасность и каков ее уровень

Столкновения Земли с малыми космическими телами происходили всегда. В геологической истории Земли сохранилось много свидетельств падения на Землю крупных (размером более 1 км) тел. Падение таких космических тел приводит к выделению колоссальной энергии. В результате на поверхности планеты образовались кратеры, диаметры которых в 15-20 раз превышают размеры упавшего тела. На суше и на дне океанов и морей обнаружены около 200 кратеров — следов подобных катастроф. Некоторые из них достигают 200 км в диаметре. Например, кратер Чиксулуб в Мексике (диаметр 180 км) образовался при падении 10 километрового тела 65 млн. лет тому назад. Считается общепризнанным, что это событие послужило причиной вымирания более 80% всех видов живых существ, в том числе полного вымирания динозавров, и означало переход от мелового периода мезозойской эры к третичному периоду кайнозоя. На поверхности Луны и других планет, спутников планет и астероидов также наблюдается огромное количество ударных кратеров (рис. 2). Более того, следы ударов на телах, не имеющих атмосферы и геологически пассивных, прекрасно сохраняются в течении миллиардов лет и служат историческими журналами событий, по которым эксперты восстанавливают очень важную информацию о свойствах тел-ударников, эволюции темпа (частоты) соударений и т. д. На Земле подавляющая часть этой информации утеряна навсегда, как из-за многочисленных эрозионных процессов, так из-за того, что геологическая активность



Рис. 3. Характерные оценки размера для различных классов малых тел.

земной коры (например, движение материковых плит) в течении нескольких сотен миллионов лет приводит к полному изменению облика нашей планеты.

Яркими примерами того, что столкновения малых тел Солнечной системы с планетами — процесс далеко не закончившийся, являются падение в 1994 г. кометы Шумейкера-Леви-9 на Юпитер (см. фото на первой странице лекции) и, конечно, Тунгусская катастрофа. Тридцатого июня 1908 г. в весьма малонаселенном районе Сибири произошел мощный воздушный взрыв на высоте примерно 6-8 км. Он привел к вывалу леса (около 80 миллионов деревьев) на территории более 2 тысяч кв. км. Поздние оценки показали, что энергия взрыва составляла до 15 мегатонн тротилового (ТНТ) эквивалента.

Употребляя термин «малые тела Солнечной системы», мы должны иметь в виду, что это понятие охватывает широкий набор объектов,

которые принято подразделять, в зависимости от размера и свойств, на межпланетную пыль, метеороиды, астероиды и кометы. Главный параметр, по которому проводится классификация — размер тела. Характерные размеры для тел различных классов приведены на рис. 3. Следует отметить, что неопределенность используемых в научной литературе значений границ между некоторыми классами довольно велика. Так метеороиды иногда определяют как тела размером менее 100 м, а астероиды — как тела размером более 10 м. Обнаруженный в 2008 г. метеороид TC3, который вскоре упал в Суданской пустыне, а его остатки были найдены в виде небольших метеоритов, зачислили в класс астероидов, хотя его исходный размер оценен всего в 3-4 м.

Сближаться с Землей при движении в пространстве и падать на нее могут любые малые тела. Конечно, выпадение космической пыли, т.е. частиц от субмикронного до субмиллиметрового размера, не составляет для Земли какой-либо реальной угрозы и вообще не оказывает сколько-нибудь значительного воздействия на нашу планету. Несмотря на частенько появляющиеся в СМИ сообщения о том, что наша планета «раздувается и тяжелеет», прирост ее массы за счет выпадения вещества из космоса в настоящую эпоху ничтожен. Оценки притока метеорного вещества лежат в пределах 10-300 тысяч тонн в год (за миллион лет радиус Земли увеличивается в среднем всего лишь примерно на 1 мм!). Более крупные тела (метеороиды) проявляют себя при столкновении с Землей как сгорающие в атмосфере метеоры и болиды. Размеры таких тел, как правило, не превышают нескольких метров.

Некоторые метеороиды долетают до поверхности Земли (на Земле их находят в виде метеоритов). Долетит или не долетит тело до поверхности Земли, зависит от многих параметров: размеров, состава, скорости, угла входа в атмосферу, формы и структуры тела. Наиболее устойчивы к разрушению при пролете в атмосфере железные метеороиды. Значительная часть метеороидов, по-видимому, представляет собой довольно рыхлые тела, образующиеся в результате распада кометных ядер. Распад ядра кометы Швассмана-Вахмана, произошедший весной 2006 г. (астрономы различных обсерваторий насчитали свыше 60 новых фрагментов ядра кометы), стал наблюдаемым свидетельством того, что в образовавшемся метеорном рое содержатся тела размерами до нескольких сотен метров в диаметре. Кстати, наличие довольно крупных декаметровых (до 40 м) тел в метеорных и болидных потоках впервые выявлено в наблюдениях, начатых в Институте астрономии РАН в начале 1990-х гг. XX века.

Угроза, обусловленная падением метеоритов на Землю, малозначительна для людей, т.е. для вполне конкретных жителей Земли. Действительно, непосредственное попадание метеорита в человека — явление крайне редкое и при рассмотрении риска может практически не учитываться. Статистические оценки ущерба от падения метеоритов на Землю не очень точны, но в любом случае этот ущерб незначителен по сравнению с другими, куда более весомыми факторами риска. Стоит, например, вспомнить, что в России на дорогах в результате ДТП ежегодно погибает не менее 30 тысяч человек! А несчастные случаи, обусловленные

пьянством и другими социальными болезнями?!

В целом, можно считать, что ни микрочастицы, ни более крупные метеороиды действительно не представляют серьезной угрозы для человеческой цивилизации. Земная атмосфера прекрасно защищает нас от ударов тел размером до нескольких метров. Пока не началось массовое проникновение человека в космическое пространство, имеет смысл говорить только об угрозе со стороны опасных столкновений с Землей достаточно крупных тел: астероидов и крупных фрагментов комет размером не менее нескольких десятков метров. Именно эта угроза и составляет смысл понятия астероидно-кометной опасности.

Естественен вопрос: в чем выражаются опасные последствия столкновений? Крупные небесные тела способны достичь поверхности Земли или нижних слоев атмосферы и причинить сильные разрушения. Последствия таких падений сравнимы с масштабными природными катастрофами или результатами изобретательности человеческого гения, например, взрывом мощной водородной бомбы. Самое разрушительное землетрясение унесло около 2 млн. человеческих жизней. Такие стихийные бедствия, как оползни, цунами, ураганы и извержения вулканов, уносили до 300 тысяч жизней людей каждое. Столкновение небесного тела с Землей, вообще говоря, не имеет верхнего предела разрушительности — оно может стать причиной гибели всего человечества и даже почти всего живого на Земле. Поэтому, несмотря на чрезвычайную редкость таких событий, они становятся в ряд с другими источниками риска гибели.

Табл. 1. Частота и результаты столкновений малых тел с Землей

Объект	Размеры	Частота (раз в ... лет)	Размер кратера (км)	Результат столкновения с Землей. Примеры ударных кратеров
Пылинка	$D < 0,1$ см	Непрерывно	Нет	Сгорает в атмосфере или выпадает на планету
Метеороид	$0,1 \text{ см} < D < 0,5 \text{ м}$	Часто	Нет	Сгорает в атмосфере
—	$0,5 \text{ м} < D < 20\text{-}30 \text{ м}$	0,5	Нет	Сгорает в атмосфере или долетают до Земли с малой скоростью
—	$D > 30 \text{ м}$	100-250	Нет $> 0,5 \text{ км}$	Локальная катастрофа Воздушный взрыв (например, Тунгусское событие) Наземный взрыв (например, Аризонский кратер)
Астероид (комета)	$D > 100 \text{ м}$	5 тыс.	> 2	Региональная катастрофа 7-км кратер Жаманшин в Казахстане
—	$D > 1 \text{ км}$	600 тыс.	> 20	Глобальная катастрофа Образование наземного или подводного кратера (например, 25-км кратер Каменский, Россия)
—	$D > 10 \text{ км}$	100 млн.	200	Массовое вымирание биоты. Конец цивилизации Образование гигантского кратера (например, 180-км кратер Чиксулуб в Мексике)

В табл. 1 приведены средние оценки частоты и результатов столкновений малых тел Солнечной системы с Землей. Падения тел размером от 1,5 км и более случаются в среднем раз в миллион лет. Именно такие события вызывают глобальную катастрофу. При этом уже не так важно, где именно произойдет столкновение. Тяжелые последствия ждут все человечество. В результате первичного удара и

последующей каскадной бомбардировки возникнет целый «буket» катастрофических явлений — ураганы, пожары, землетрясения, мощнейшие цунами, грязевые и кислотные ливни, кратковременный, но очень сильный (сотни градусов) перегрев атмосферы и т. д. Подобное столкновение на длительный срок (многие месяцы) приведет к нарушению климата всей планеты (эффект «ядерной зимы»). Тела раз-

мером более 10 км могут безвозвратно погубить человеческую цивилизацию. Однако такие события весьма редки.

Региональные катастрофы, вызываемые падениями космических тел размером в сотни метров, случаются в среднем раз в несколько десятков-сотен тысяч лет. Такие катастрофы приводят к тотальному поражению на площадях в сотни тысяч и миллионы кв. км (что сравнимо с площадью крупной европейской страны). Тела, подобные Тунгусскому, сталкиваются с Землей (по пессимистическим оценкам) примерно раз в столетие.

Ученые пытаются ввести количественные оценки возможных последствий. По оценкам, проведенным экспертами из США, усредненное по большому периоду времени (миллионы лет) число жертв катастроф, вызванных столкновениями с космическими телами, может достигать тысячи человек в год. Это не так уж много, но такое усреднение нельзя считать серьезной методикой определения степени опасности. Наша цивилизация развивается столь стремительными темпами и становится настолько технологически зависимой, что рассчитывать степень опасности даже на ближайшее столетие и при этом опираться на данные о сегодняшнем состоянии можно лишь очень и очень приближенно. Что касается расчета последствий конкретных событий, то и тут не все предсказуемо. Есть довольно простые оценки последствий мгновенного выделения гигантских энергий в малом объеме (попросту говоря, мощных взрывов), проверенные на натурных экспериментах. Речь идет, конечно, об испытаниях термоядерных бомб, самая

мощная из которых («Кузькина мать») имела зарядовый эквивалент около 60 мегатонн ТНТ.

Если говорить об АКО, то задача определения последствий представляется более сложной. Во-первых, речь может идти об энергиях, несравненно больших, во-вторых, появляются дополнительные параметры и факторы, влияние которых оценить непросто. Тем, кто заинтересуется этим вопросом (расчет последствий столкновений), можно порекомендовать общедоступную программу Earth Impact Effect Program, разработанную сотрудниками университета штата Аризона (США). Ею может воспользоваться любой посетитель сайта <http://www.lpl.arizona.edu/impacteffects/>. Но к таким методикам нужно относиться, конечно, с пониманием того, что точность «предсказания» последствий очень невелика. Уж слишком сложный и многопараметрический процесс рассматривается.

Характеристики и численность опасных тел

Прежде всего, дадим некоторые определения. Под объектами, сближающимися с Землей (ОСЗ), понимают астероиды (АСЗ) и кометы, орбиты которых могут сближаться с орбитой Земли на расстояние не более 50 млн. км или 0,3 астрономической единицы (а.е., среднее расстояние от Земли до Солнца). Из их числа выделяют потенциально опасные объекты (ПОО), под которыми понимают тела, чьи орбиты сближаются с орбитой Земли до минимального расстояния, не превышающего 7,5 млн. км. Тела на орbitах, проходящих от Земли на расстояниях до 20 радиусов лунной орбиты, считаются потенциально опасными на

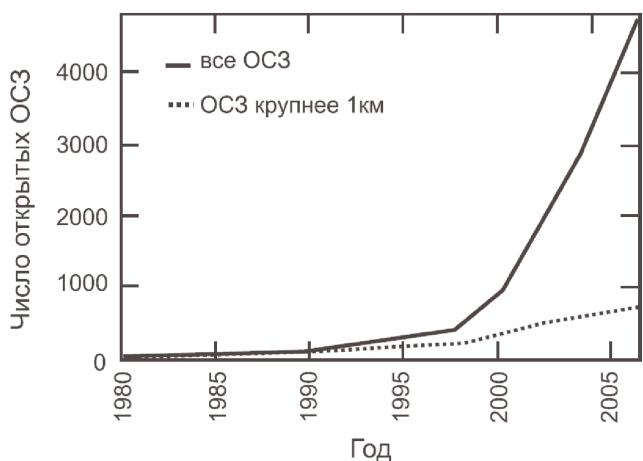


Рис. 4. Динамика обнаружения астероидов, сближающихся с Землей (по данным NASA)

том основании, что в этих пределах в обозримом будущем можно ожидать изменения расстояний между орбитами под влиянием планетных возмущений. Кроме того, это характерный масштаб области неопределенности орбиты малого тела (при прогнозировании примерно на сто лет вперед) вследствие неточного знания параметров движения тела в настоящую эпоху. При весомой вероятности встречи астероида с Землей он считается угрожающим.

Число известных ОСЗ и ПОО быстро растет. Динамика обнаружения АСЗ показана на рис. 4. На графике хорошо видно, как резко возрос темп обнаружения АСЗ, начиная с 1998 г. Это связано с началом американской программы «Космическая страж» (Spaceguard Survey), которая получила поддержку, в том числе, заметную финансовую (не менее 50 млн. долларов), со стороны Конгресса США. При этом NASA поручалось приложить усилия к тому, чтобы в течение 10 лет открыть

не менее 90% астероидов, сближающихся с Землей, которые имеют размеры свыше 1 км. Оценка их общего числа близка к тысяче. К концу 2009 г. эта задача считалась близкой к завершению.

По данным Центра малых планет (ЦМП) (<http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html>) при Международном астрономическом союзе по состоянию на 1 марта 2009 г. обнаружено 6100 объектов, сближающихся с Землей, — 6017 астероидов и 83 кометы. Из них потенциально опасных объектов оказалось 1029. Из общего числа обнаруженных астероидов, сближающихся с Землей, около 900 имеют размер более 1 км (более 143 из них классифицируются как потенциально опасные).

По современным теоретическим оценкам количество потенциально опасных объектов (ПОО) размером более 150 м составляет несколько десятков тысяч, а размером более 50 м — несколько сотен тысяч. Эта оценка в сотни раз превышает количество известных объектов. Такова степень нашей осведомленности о конкретных телах, которые могут представлять для Земли определенную угрозу!

Следует отметить, что все обнаруженные до сих пор опасные объекты и потенциальные события их сближения с Землей изучаются специалистами, и пока ни один из них не представляет серьезного основания для общественной тревоги. К сожалению, в последние годы многие СМИ «грешат» публикацией совершенно непроверенных материалов о катастрофических столкновениях с кометами и астероидами в самом близком будущем. Это обычные издержки ситуации, когда серьезная научная проблема становится «модной». И все

же еще раз подчеркнем, что мы очень мало знаем о ПОО, так что никто не гарантирует, что завтра, через год, через десятилетие (может быть, уже слишком поздно) не будет обнаружен новый объект, намного более опасный, чем уже известные. Более того, в силу ограниченности современных наблюдательных возможностей опасные тела открываются практически по счастливой случайности.

Показательный пример — в общем-то, случайное открытие ставшего уже знаменитым астероида Апофис. Обнаруженный в 2004 г. потенциально опасный объект 2004 MN4 (99942) Apophis размером около 300 м, в 2029 г. пройдет близ Земли. Активно исследуется возможная эволюция орбиты этого астероида. Согласно результатам многочисленных расчетов в 2029 г. астероид пройдет на расстоянии

36,1-39,2 тыс. км от Земли. В 2036 г. он имеет ненулевую вероятность столкнуться с Землей.

Самое интересное — существование так называемой зоны резонансного возврата (в англоязычной литературе используется более образный термин «замочная скважина», key-hole). Ее поперечник чуть меньше 1 км. Если в 2029 г. Апофис пролетит именно в эту «замочную скважину» (вероятность этого события оценивается в $2 \cdot 10^{-5}$), то в 2036 г. он гарантированно столкнется с Землей. На рис. 5. показана полоса возможного столкновения астероида Апофис с Землей в 2036 г.

Обнаружение и мониторинг опасных тел

Вопрос об оценках уровня астероидно-кометной опасности в целом связан, в первую очередь, с нашим знанием населенности Солнеч-

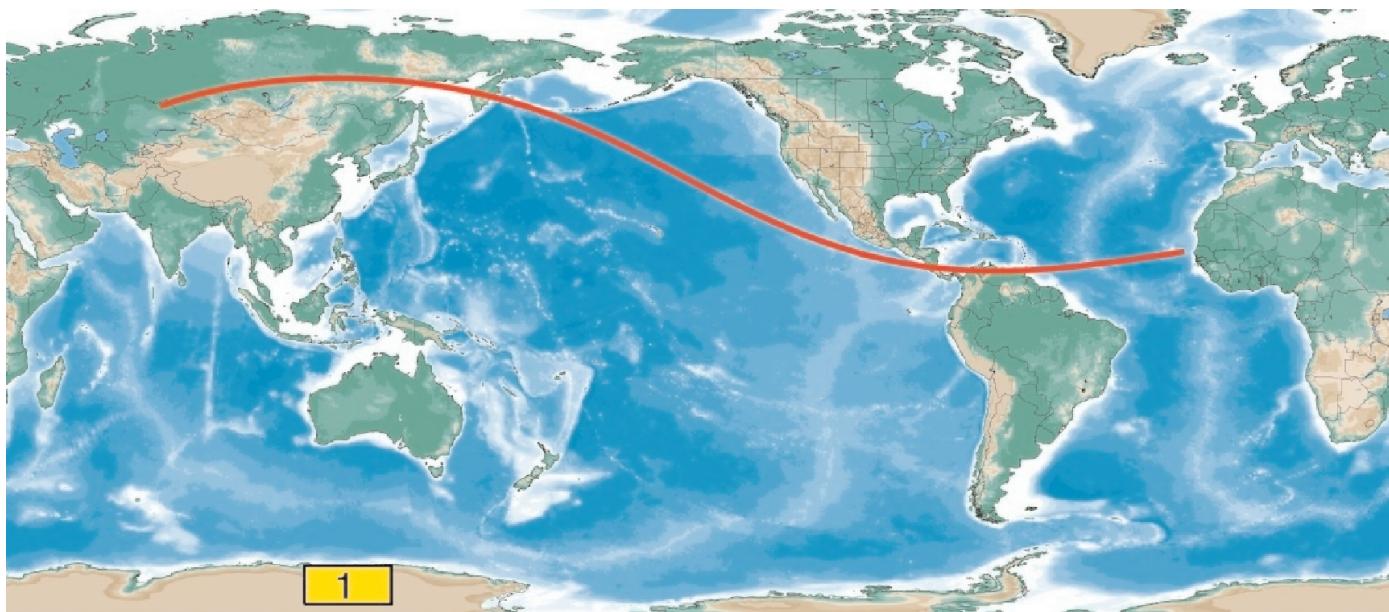


Рис. 5. Возможные места падения астероида Апофис в 2036 г. © Russell Schweickart / B612 Foundation

ной системы малыми телами, особенно теми, что могут столкнуться с Землей. Такие знания дает астрономия. Человечество уже накопило огромный объем информации о малых телах, но как мы видели, этого явно недостаточно.

Перед наблюдательной астрономией в плане решения проблемы АКО стоят несколько задач. Прежде всего, необходимо выявить все достаточно крупные астероиды и кометы, определить их орбиты, выделить потенциально опасные объекты, постараться максимально точно определить параметры их движения и затем улучшать их по мере поступления новых данных, выяснить физические и другие свойства ПОО и т. д. Это даст возможность своевременно определить, какие из небесных тел могут стать угрожающими космическими объектами, и оценить вероятность их столкновения с Землей. В современной трактовке задача обнаружения должна рассматриваться именно как задача оперативного (т.е. быстрого) и массового (полного) выявления опасных тел (от 100 м и более). Последующие регулярные наблюдения таких объектов (мониторинг) должны обеспечить уточнение их орбит и максимально полное исследование их физических свойств. Тем самым появляется возможность предсказать столкновение достаточно крупного тела с Землей за много лет, и дать необходимую информацию для того, чтобы человечество могло заблаговременно принять соответствующие меры.

Конечно, задачу выявить *все* такие тела не следует понимать в буквальном смысле. Все тела обнаружить невозможно; можно говорить лишь о некоторой оценке. Еще одно замечание относится к определению «достаточно круп-

ные». Его следует относить к телам, представляющим в смысле АКО наибольшую угрозу. Если суммировать детальную информацию о частоте падения и ущербе от падения тел данного размера, то можно сказать, что на шкале времени, сравнимой со временем существования человечества (несколько сотен тысяч лет) наибольшую опасность представляют столкновения со сравнительно небольшими телами размером 50-100 м при падении на суши и около 200 м при падении в океан. Такие тела несут меньшую энергию, чем более массивные, но столкновения с ними происходят гораздо чаще.

Проведенное выше сравнение числа обнаруженных и оценки числа пока необнаруженных ПОО размером около 100 м хорошо показывает, что на данный момент мы еще не обладаем наблюдательными технологиями, позволяющими заблаговременно обнаруживать тела такого размера в массовом порядке. Поэтому нужно быть готовым и к решению задачи обнаружения опасных космических объектов на подлете к Земле. Космические объекты, имеющие размеры менее 100 м, могут быть доступны для наблюдений только в достаточно близких окрестностях нашей планеты. При этом не исключено, что объект, угрожающий столкновением с Землей, может быть обнаружен лишь за один-несколько месяцев до падения. Переходя к еще меньшим объектам декаметрового размера (Тунгусское тело), следует помнить, что время подлета после обнаружения исчисляется сотнями-десятками часов.

Поиск движущихся опасных объектов — сложная задача. Ее решение потребует организации патрулирования всего неба. При этом с

поверхности Земли принципиально не удастся обнаружить тела, которые движутся со стороны Солнца и не видны на ярком фоне дневного неба. Кроме того, большое значение имеет и погодный фактор. Поэтому наиболее полное решение проблемы обнаружения большинства потенциально опасных небесных тел может быть получено лишь с привлечением специальных космических средств наблюдения.

Наиболее развиты исследования по проблеме обнаружения ОСЗ в США, где работают несколько специализированных служб и ежегодно государством финансируется развитие работ по обнаружению, каталогизации и определению физических характеристик ПОО. Также постоянно ведется изучение способов предотвращения или уменьшения масштабов угрозы таких столкновений. Из международных проектов по обнаружению ОСЗ достойны упоминания проекты Японии, стран Евросоюза и Австралии. Речь идет об оптических наблюдениях ОСЗ. Нужно отметить, что значительная часть информации об исследованиях по проблеме, связанная с развитием военных технологий, освещается в открытой печати неполно.

Радарные наблюдения отдельных ОСЗ выполняются, главным образом, в радиоастрономических обсерваториях Голдстоун и Арешибо (США) в количестве 10-15 объектов ежегодно. Такие наблюдения исключительно важны как для уточнения орбит объектов, так и для моделирования их формы, вращения и других физических характеристик. Весьма редкие эпизоды использования радара РТ-70 в Евпатории не дают уверенности, что этот

инструмент будет планомерно использоваться для изучения опасных тел.

Обработка всей поступающей информации о наблюденных положениях объектов, присвоение предварительных обозначений, идентификация объектов, определение предварительных орбит и их последующее уточнение в настоящее время полностью выполняются под контролем Центра малых планет. ЦМП публикует информацию об объектах, которые необходимо наблюдать дополнительно для подтверждения открытия, уточнения орбит и других характеристик. Прогнозирование движения потенциально опасных объектов, поиск их тесных сближений с Землей и оценка вероятности столкновений на протяжении ближайших десятилетий регулярно осуществляются в Лаборатории реактивного движения NASA (<http://neo.jpl.nasa.gov/risk/>) и в Пизанском университете (<http://newton.dm.unipi.it/neodys/>). В других странах такие исследования ведутся менее регулярно. В России изучение движения ОСЗ проводится в ряде исследовательских центров: ГАО РАН, ИПА РАН, ГАИШ МГУ, Томском государственном университете, ИНАСАН и др. В этом направлении исследований Россия вполне на мировом уровне.

Очевидно, что необходимо развивать средства и методы наблюдений (как обнаружения так и мониторинга) опасных тел. Ибо как известно уже более двух тысячелетий «*Praemonitus praemunitus*» (кто предупрежден, тот вооружен). Задача обнаружения стоит сейчас на другом, по сравнению с 1998 г., уровне. В США подготовлена (но пока не одобрена Конгрессом) программа «Космический пат-

руль-2» по обнаружению в течение 15 лет практически всех ПОО размером более 100 м. Финансовые затраты на эту программу оцениваются в 1-2 млрд. долларов.

В мире построено уже довольно много крупных астрономических телескопов, но они, к сожалению, не годятся для решения задач массового обнаружения ПОО. Для создания современной системы обнаружения необходимо создавать специальные инструменты. Оптимальные параметры наземных телескопов и обсерваторий, предназначенных для обнаружения ОСЗ размером 100 м и более, вполне определены:

- Поле зрения инструмента должно быть не менее нескольких (желательно десяти) квадратных градусов, нужны детекторы гигантской площади.
- Проникающая способность должна быть не хуже 22-ой звездной величины при экспозициях не более нескольких десятков секунд. Это означает, что диаметр телескопа должен быть не менее 1-2 м. Такой телескоп позволит обнаружить опасный астероид размером около 140 м на расстоянии в 150 млн. км.
- Количество ясных ночей с хорошим качеством изображения должно быть большим.
- Необходимо мощное компьютерное оборудование и математическое обеспечение для получения оперативной информации о новых объектах в течение ночи и окончательной обработки до начала следующей ночи.
- Телескопу необходима оперативная связь с другими обсерваториями. Иными словами, должна создаваться глобальная международная служба!

Сейчас за рубежом осуществляется несколько проектов создания специализированных инструментов, пригодных для обнаружения опасных объектов. Особенно хорошо известны строящиеся на Гавайях телескопы серии Пан-Старрз (Pan-STARRS). Система Пан-Старрз предназначена прежде всего для решения задач военно-воздушных сил США, отвсреди прочего отвечающих и за контроль космического пространства. Она представляет собой 4 телескопа с апертурой 1,8 м, предназначенные для одновременного наблюдения одного участка неба. Поле зрения каждого телескопа — 3°. Огромные размеры — 1,4 млрд. пикселей — имеет ПЗС-приемник. За 60 сек. экспозиции достигается 24-я звездная величина. В режиме обзорного поиска эти телескопы способны покрыть всю доступную площадь неба трижды в течение месяца. Пока создан первый (пробный) телескоп PS1, и он уже работает. На рис. 6 показана впечатляющая фотография блока приемников камеры телескопа PS1.

Планируется создание и более мощных инструментов для работ по проблеме АКО. Отметим проект 4,2-м телескопа DCT (Discovery Channel Telescope) Ловелловской обсерватории (<http://www.lowell.edu/DCT/>). Оптическая система телескопа допускает переключение с ультраширокого поля зрения в главном фокусе, используемого при проведении обзоров, к длиннофокусной системе, используемой при астрофизических исследованиях. В главном фокусе система позволяет получить поле зрения, в 16 раз превышающее площадь полной Луны. Вступление телескопа в строй ожидается после 2010 г.

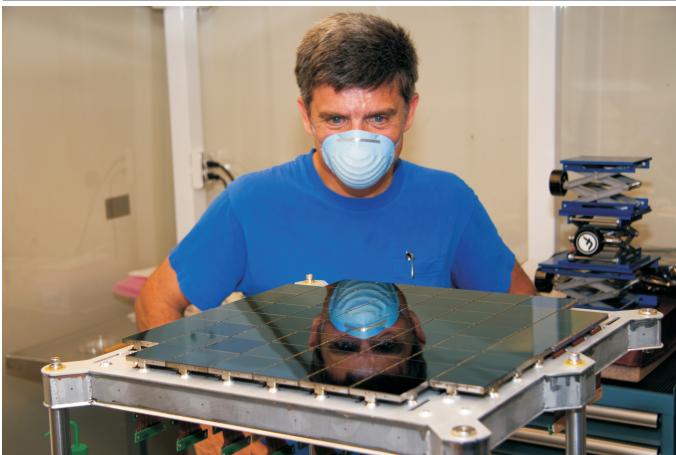


Рис. 6. 1,4-гигапиксельная камера GPC1 для проекта PS1 (<http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public/design-features/cameras.html>). © IFA/Richard Wainscoat

Еще более уникальную систему «гражданского назначения», предназначенную для выполнения обзоров неба, представляет собой проектируемый телескоп 8-метрового класса LSST (Large Synoptic Survey Telescope, <http://www.lsst.org>). Система сможет за каждые 15 секунд осмотреть участок неба, в 50 раз превышающий по площади полную Луну, с регистрацией объектов до 24,5 звездной величины. Цифровая камера телескопа будет иметь размер $3 \cdot 10^9$ пикселей, а полный объем информации, получаемый в течение одной ночи, будет эквивалентен 7000 DVD-дисков. Предполагается, что система будет готова к работе после 2015 г. Телескоп предполагается установить в Чили. Данные, генерируемые телескопом, предполагается сделать общедоступными. Правда, в настоящее время есть серьезные трудности с финансированием этого дорогостоящего проекта (стоимость создания инструмента и его эксплуатации в течение 10 лет приближается к 1 млрд. долларов США).

В России современных инструментов для эффективного обнаружения опасных тел нет, но проводится подготовка предложений по созданию специализированных инструментов. Наиболее перспективен проект широкоугольного телескопа АЗТ-33ВМ Института солнечно-земной физики (ИСЗФ) СО РАН (рис. 7). Его параметры вполне достойны и лишь немногого уступают параметрам телескопов Пан-Старрз. При поле зрения около 3° и диаметре главного зеркала 1,6 м этот телескоп будет способен обнаруживать объекты 24-й звездной величины за 2-минутную экспозицию. Главная трудность, которая видится сейчас, — создание мощного узла приемников излучения, подобного тому, что используется в проекте Пан-Старрз. Ну и конечно, финансирование. В ИСЗФ имеется задел, поскольку специалисты института и промышленности создали и уже ввели в строй близкий по кон-

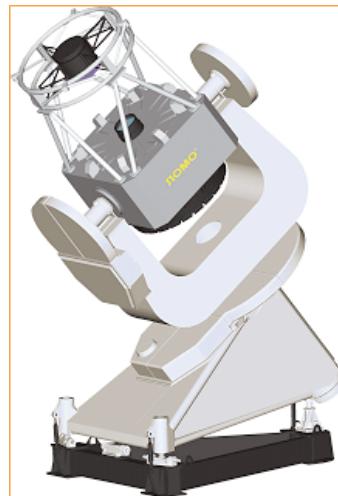


Рис. 7. Проект мощного широкоугольного телескопа АЗТ-33ВМ Института солнечно-земной физики СО РАН.

струкции инфракрасный телескоп. Поэтому для нового телескопа есть базовый проект и даже изготовлены некоторые конструкции. На завершение работ необходимо около 300 млн. рублей, в десятки раз меньше того, что затрачено и планируется затратить в проекте Пан-Старрз, но все-таки это достаточно внушительная сумма для отечественной фундаментальной науки, и без централизованной поддержки создать первый российский телескоп такого уровня вряд ли возможно.

Уже обнаруженные объекты можно успешно изучать с существующими астрономическими телескопами (т. е. в режиме постоянного наблюдения уточнять орбиту и исследовать физические свойства объектов). Разумеется, при этом предполагается, что вся исходная информация об обнаруженных специальными инструментами опасных объектах будет доступна астрономам. К сожалению, гарантий соблюдения этого условия ведущими странами нет, поскольку применяемые здесь технологии имеют выраженный военно-прикладной характер (например, контроль ближнего космоса).

Вклад российских обсерваторий в решение задач мониторинга и выявления характеристик опасных тел пока не так велик, но все-таки заметен. Он, в первую очередь, выражается в проведении исследований физических свойств АСЗ, что весьма важно для планирования возможных методов противодействия столкновению, а также в слежении за уже открытыми объектами и исследовании источников их пополнения. Более или менее регулярные наблюдения АСЗ в настоящее время проводятся только в Пулковской обсер-

ватории на автоматизированном телескопе диаметром 32 см. Эпизодические наблюдения АСЗ выполняются и в других обсерваториях, например специалистами Казанского государственного университета на телескопе РТТ-150 Российско-турецкой обсерватории близ г. Анталья, на пике Терскол с помощью телескопа «Цейсс-2000» Международного (российско-украинского) исследовательского центра, в САО РАН и на инструментах наблюдательных сетей, предназначенных, в основном, для проведения исследований по другой тематике (например, сеть «Мастер» ГАИШ МГУ для исследования источников гамма-вспышек, сеть «Пулкон», создаваемая ГАО РАН, МАК «Вымпел», ИПМ РАН и другими организациями для обнаружения и мониторинга космического мусора). Проблема использования сетей для мониторинга опасных объектов не столько техническая (хотя и это есть), сколько организационная. Пока не создан организационный «интерфейс», позволяющий использовать эти сети в режиме службы (а решение задач обнаружения и мониторинга в проблеме АКО требует создания именно службы, т. е. регулярного и стандартизированного режима работы вовлеченных наблюдательных средств).

Важной, но трудноосуществимой задачей является создание эффективной системы обмена информацией с существующими пунктами контроля космического пространства. Системы, подобные системе «Окно», расположенной в Таджикистане, или Алтайскому лазерному центру, в принципе, могут давать существенную информацию для решения задач по проблеме АКО, но они предназначены

для решения задач по линии Министерства обороны, и пока что необходимые организационные «интерфейсы» для обмена информацией по «гражданской» тематике АКО и здесь не разработаны.

Как оценивают риски

Надежная оценка степени риска — главный результат, который обязана дать наука, занимающаяся проблемой АКО. Как мы видели, усредненный уровень риска, связанного с АКО относительно невелик. Это особенность проблемы. Катастрофы приводят к серьезным последствиям, но происходят редко. Степень усредненного риска является аргументом при обсуждении распределения средств, выделяемых по отдельным долговременным проектам научных исследований различных угроз, стоящих перед страной. Этот долговременный и регулярный вид планирования может поддерживаться на умеренном уровне затрат. Другой вид риска, а именно риск конкретного угрожающего события (столкновения), может потребовать принятия незамедлительных и весьма затратных решений. Конечно, эти решения будут принимать не ученые, а правительства или даже международные органы, такие как ООН (см. далее), но именно ученые определяют степень риска конкретного столкновения. Этот риск определяется двумя факторами — вероятностью столкновения и тяжестью его последствий. Здесь особенно важно соблюсти меру. Завышение степени риска, например, в случае возможного столкновения с астероидом Апофис в 2036 г., может означать огромные напрасные затраты, которые придется понести для переселения большого количе-

ства людей, закрытия или переноса производств и т. д. Недооценка риска может обернуться еще большими потерями, если столкновение все-таки произойдет. Вывод совершенно очевиден: нужно иметь надежную методику, позволяющую адекватно оценить степень риска.

В средствах массовой информации часто упоминается Туринская шкала угрозы, а в научной литературе — Палермская шкала. В Туринской шкале, связывающей кинетическую энергию угрожающего тела и вероятность столкновения, насчитывается 11 степеней риска. Степень риска 0 означает, что никакой угрозы нет, т.е. столкновение либо не произойдет вообще, либо тело настолько мало, что столкновение неопасно. Степени 8-10 означают неизбежное столкновение и катастрофу — от локальной (степень 8) до глобальной (степень 10). Шкала напоминает принятую в ряде стран шкалу степени угроз государственного масштаба («оранжевая», «красная» и т. д.). Палермская шкала считается более профессиональной и детальной, чем Туринская, особенно при оценке угроз, по Туринской шкале классифицируемых степенями от 0 до 2. Палермская шкала представляет собой десятичный логарифм относительного риска, определяемого с учетом вероятности столкновения для конкретного случая, времени до ожидаемого события, числа столкновений в год с энергией не менее заданной и т. д.

Несколько упрощая, можно сказать, что за надежную оценку этих факторов риска отвечают две фундаментальные науки: астрономия (в частности, небесная механика — за оценку вероятности столкновения) и геофизика (вкупе с науками экономического и социального на-

правлений — за оценку последствий столкновений). Я отсылаю читателя, интересующегося последствиями столкновений, к уже упоминавшейся книге «Катастрофические воздействия космических тел», а здесь остановлюсь на некоторых астрономических аспектах.

Мне не раз приходилось дискутировать на тему «Какую конкретную пользу приносит астрономия народу?» Причем чаще всего спрашивает об этом не народ, а люди, власть и деньги имущие, и чиновники, изгоняющие астрономию из системы образования (это отдельная больная тема). Для них и для всех моих коллег (им ведь тоже приходится участвовать в подобных дискуссиях) я хочу специально выделить тезис: **Астрономия — ключевой компонент в решении глобальной проблемы астероидно-кометной опасности, реальность которой уже не вызывает сомнений.** Это, конечно, не основной аргумент в пользу развития астрономических исследований и поддержки распространения астрономических знаний в обществе, но он весьма конкретен.

Наука о движении небесных тел — небесная механика — объясняет возможность проникновения отдельных астероидов внутрь орбиты Земли и, в общем, позволяет оценить как количество опасных объектов, так и частоту столкновений их с Землей. Движение этих тел тщательно рассчитывается, с тем чтобы оценить вероятность действительно угрожающих сближений. Конечно, подходы классической небесной механики, прошедшие проверку в течение столетий, используются в полном объеме, но даже в этой области возможны очень существенные нововведения. Пример — недавний «бум», связанный с массовым осо-

знанием существенности эффекта Ярковского для эволюции орбит астероидов.

Еще одна тема — так называемые зоны резонансного возврата — стала особенно актуальной в связи с исследованиями эволюции орбит малых тел в результате близких прохождений в окрестности планеты и последующих столкновений с нею малых тел. Весьма сложна задача расчета орбит комет из-за множества дополнительных плохо рассчитываемых негравитационных факторов (например, нереально с высокой точностью рассчитать влияние газовых потоков, исходящих из испаряющейся кометы, на движение ядра). Эти соображения относятся к орбитам как короткопериодических, так и долгопериодических комет. Появление последних в настоящее время вообще практически непредсказуемо. Долгопериодические кометы обнаруживаются в лучшем случае лишь за несколько месяцев-год до их появления в окрестности Солнца.

Типичный примером может служить комета C/1983 H1 (IRAS-Araki-Alcock) с орбитальным периодом 963,22 года, открытая 27 апреля 1983 г., которая уже через две недели (11 мая 1983 г.) пролетела мимо Земли на расстоянии 0,0312 а.е. Кроме того, такие кометы имеют большую скорость относительно Земли.

Рассмотрим теперь вопрос — откуда появляются опасные тела. На рис. 8 приведен «мгновенный снимок» внутренней части Солнечной системы. На ряде сайтов, включая <http://www.cfa.harvard.edu>, можно найти анимации, на которых демонстрируется движение малых тел Солнечной системы (разумеется, ускоренно). Даже на такой схематической картины видно, насколько сложны и разнообразны

могут быть орбиты. В реальности картина намного сложнее, поскольку орбиты не неизменны, а могут испытывать вариации (иногда очень сильные). Если такие изменения достаточно существенны, они приводят к миграции, т.е. к появлению потоков — массовому перемещению малых тел.

Астероиды из Главного пояса, показанного на рис. 8, способны мигрировать к Солнцу, на своем пути испытывая тесные сближения с планетами. Считается, что основной причиной появления астероидов, сближающихся с Землей, является случайное (в результате взаимодействий с другими астероидами) попадание некоторых астероидов Главного пояса в зоны резонансов и затем выброс этих астероидов далеко за пределы пояса. Такие (почти пустые) зоны в Главном пояссе отчетливо наблюдаются и называются люками Кирквуда. У орбиты астероида, попавшего в лук, начинает увеличиваться эксцентриситет, и она начинает пересекать орбиту Марса, а затем и орбиты других планет. Соответственно, при этом астероид перестает принадлежать Главному поясу.

Процесс миграции комет более масштабен, чем у астероидов. Орбиты комет, брошенные в планетную область из облака Оорта (рис. 9) под действием звездных и галактических возмущений, с начальными большими полуосями в десятки тысяч астрономических единиц могут преобразовываться в орбиты с большими полуосами в несколько астрономических единиц. В околоземном пространстве соответствующие объекты регистрируются как короткопериодические кометы. Результаты численного моделирования процесса миграции показывают, что короткопериодические кометы

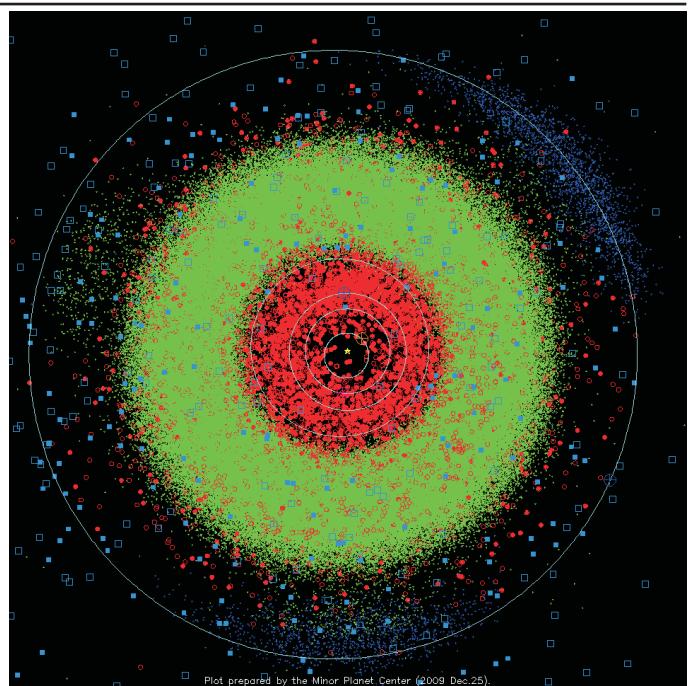


Рис. 8. Астероиды Главного пояса (зеленый цвет), астероиды, сближающиеся с Землей (красный), кометы (синий). Показаны орбита Юпитера (внешняя окружность) и орбиты внутренних планет. © Gareth Williams, Minor Planet Center

могут происходить как из облака Оорта, так и из транснептуновой области. В настоящее время открыто много объектов, находящихся в промежуточной стадии процесса миграции из внешней части Солнечной системы в околоземное пространство. Эти так называемые «кентавры» движутся в межпланетном пространстве за орбитой Юпитера.

О способах противодействия и уменьшения ущерба

Разработка методов и средств активного противодействия падению космических тел на Землю осуществляется с самого начала осо-

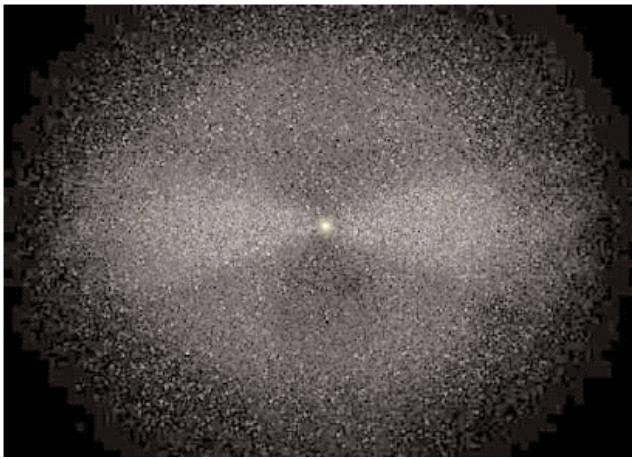


Рис. 9. Облако Оорта — область Солнечной системы, служащая источником долгопериодических комет. Предполагаемое расстояние от Солнца до внешних границ облака Оорта составляет от 50 000 до 100 000 а.е.

знания реальности проблемы АКО. Выбор метода существенным образом зависит от размеров опасного тела и времени упреждения (времени, остающегося до столкновения). Методы можно разделить на две группы: уничтожение (дробление) угрожающего тела или отклонение (увод) его с угрожающей орбиты.

Если время упреждения велико (не менее десяти лет), то по современным представлениям наиболее целесообразным является увод тела с орбиты столкновения. Обсуждается множество (более десятка) способов. Наиболее проработаны следующие методы получения импульса увода:

- поверхностный или близкий (термо)ядерный взрыв;
- ударно-кинетическое воздействие массивного тела, выведенного в космос и сталкивающегося с астероидом;
- гравитационный увод;

— использование малой реактивной тяги, создаваемой, например, электрореактивной двигательной установкой.

Принципы перечисленных методов, в общем-то, очевидны. Пояснения требует только предложенный в 2005 г. в США и набирающий «популярность» метод гравитационного увода. Его суть проиллюстрирована на рис. 10 и состоит в том, чтобы вывести на окололеденовидную орбиту космический аппарат (гравитационный тягач). Двигателями малой тяги (направление струй должно выбрано так, чтобы они не были нацелены на тело астероида) создается импульс, уводящий астероид с орбиты.

Преимущество использования гравитационного тягача состоит в том, что здесь нет необходимости точного учета особенностей формы (рельефа) астероида, в отличие от других методов увода. Если на расстоянии 0,25 км от центра Апофиса включить двигатель малой тяги в течении всего лишь нескольких часов, то это позволит изменить орбиту Апофиса таким образом, чтобы она не прошла в 2029 г. через зону резонансного возврата. Важно, что это должно быть сделано существенно *до* 2029 г.: при этом увод от зоны резонансного возврата потребует на 5 порядков меньшего импульса, чем увод на размер Земли *после* 2029 г.!

В соответствии с решением Совета РАН по космосу в Институте астрономии РАН совместно с НПО им. С.А. Лавочкина начата проработка научных задач и технических предложений к проекту полета автоматического аппарата к астероиду Апофис. Есть хороший задел — огромный опыт, накопленный при

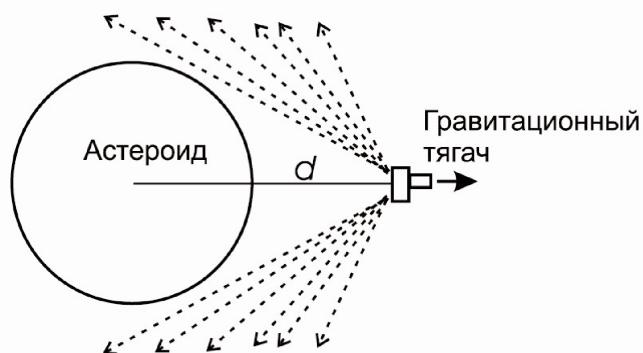


Рис. 10. Гравитационный тягач.

подготовке миссии «Фобос-Грунт». Основная цель — изучение астероида и выведение на орбиту вокруг него специального радиомаяка, что позволит использовать наземные радиотелескопы и на порядки повысить точность определения орбиты астероида. Конечно же, миссии к опасным астероидам и вообще к малым телам Солнечной системы планируются и в США, и в Европе. Очень интересен опыт японской миссии «Hayabusa» к астероиду Итокава (рис. 11), на который высаживался посадочный модуль. Размер астероида всего лишь около 500 м, и успешное осуществление очень тонких и точных маневров в окрестности астероида и на его поверхности вызывает восхищение.

При малом времени упреждения и небольшой массе тела можно добиться его дробления на части, не представляющие угрозы, например с помощью инерционных механических рассекателей. В случае большой массы тела единственным методом противодействия является его дисперсия с помощью (термо)ядерных взрывов. При размерах астероида более полукилометра способов защититься от угрозы пока не существует. Использование указанных методов требует серьезной предварительной проработки. Пока что остается очень большая неопределенность в результатах воздействия.

Проблема кооперации в подходе к глобальной проблеме АКО

Сначала о международном аспекте. Прежде всего отметим, что проблема АКО отражена в законодательных актах некоторых стран. Так в США координирующую роль в части задач обнаружения и оповещения государство поручило NASA. Согласно Закону 2008 г. (NASA Authorization Act of 2008):

- американское космическое агентство уполномочивается обеспечить подготовку космической миссии с целью изучения астероида Apophis и космической миссии среднего класса с целью выявления объектов размером более 140 метров, сближающихся с Землей;
- NASA должно пытаться развивать сотрудничество с другими странами со значительными ресурсами для проведения совместных



Рис. 11. Космический аппарат «Hayabusa» (Muses-C) и астероид Итокава. Видна тень аппарата на астероиде.
© JAXA

программ обнаружения и каталогизации ПОО;

— в течение 2 лет после даты вступления закона в силу администратор (директор) NASA должен разработать политику для уведомления Федерального агентства и соответствующих учреждений в чрезвычайных ситуациях, обусловленных угрозой столкновения, а также рекомендовать Федеральное агентство или агентства, которые будут отвечать за защиту Соединенных Штатов от околоземных объектов;

— директор NASA должен поддерживать деятельность радаров Голдстоун и Аресибо.

Специфика проблемы активного противодействия состоит в том, что она не может решаться одной страной или группой стран. Это международная проблема, затрагивающая интересы всех стран, которая может быть решена лишь при наличии международного соглашения в отношении предпринимаемых действий. Особенно чувствительным вопросом является применение ядерных взрывов как инструмента противодействия. Сегодня на вывод ядерного оружия в космос существует запрет. Но в некоторых ситуациях без этого инструмента при современном уровне технологий обойтись нельзя. Можно указать и на ряд других причин, по которым оказание активного противодействия падению космических тел должно стать предметом международного соглашения.

Как уже отмечалось, пока обнаружена лишь очень малая доля потенциально опасных объектов. Опираясь на эти неполные данные, в качестве первичной статистической оценки можно принять, что несколько процентов от

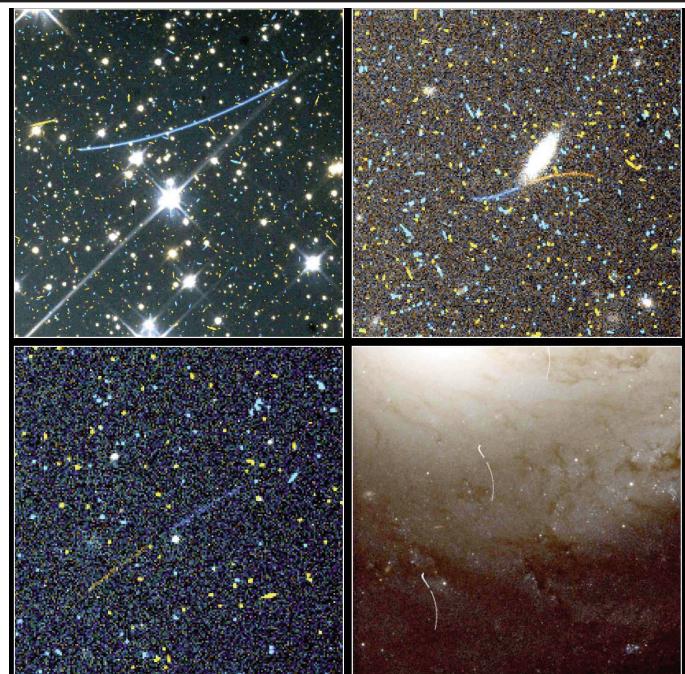


Рис. 12. Треки ранее неизвестных астероидов, обнаруженных в ходе анализа архивных снимков с Космического телескопа им. Хаббла. Всего изучение 28460 снимков, полученных в 1994-1996 гг. позволило «поймать» около сотни астероидов, лишь несколько из которых были отождествлены с известными объектами. © R. Evans and K. Stapelfeldt (JPL) and NASA

общего количества составят тела, имеющие ненулевую вероятность столкнуться с Землей в текущем столетии. Эти ненулевые вероятности очень малы, обычно порядка одного шанса на сто тысяч, но несколько сотен астероидов будут достаточно опасными, чтобы вызвать беспокойство, а несколько десятков потребуют принятия мер для противодействия. Естественно, гораздо больше астероидов будут скорее угрожать падением, чем действительно сталкиваться с Землей. Понятно, решение об уводе (разрушении)

приближающегося астероида придется принимать, когда вероятность падения будет неприемлемо высокой.

Понятие «неприемлемо высокой вероятности» довольно расплывчено (критерии пока не выработаны!). Но все же представляется (по мнению зарубежных экспертов), что если вероятность падения тела, способного уничтожить небольшую страну или крупный город, равняется, скажем, одному шансу из 100, вряд ли земляне отнесутся к этому пассивно. Если сохранить этот критерий «приемлемости», легко оценить, как часто придется принимать решения. Поскольку астероиды размером 100 м падают на Землю в среднем не реже одного раза в 1000 лет, решение о принятии мер по отклонению, уничтожению такого астероида и (или) по уменьшению ущерба в среднем придется принимать не реже, чем раз в десять лет. По-видимому, уже в течении ближайших 10-15 лет Организации Объединенных Наций и ее компетентным органам придется принимать решения о мерах по предотвращению грозящих из космоса ударов. Для этого необходимы эффективные средства поиска опасных тел и свободный обмен полученной с помощью этих средств научной информацией. Также необходимы средства для оповещения общественности об астероидной опасности. Для предотвращения грозящего удара под эгидой ООН должна быть согласована и задействована международная процедура принятия решений.

В 2002 г. при Комитете ООН по мирному использованию космоса была образована Группа действия 14 (Action team 14), задачей которой стала координация усилий разных

стран по решению проблемы АКО. В группе работают представители Австрии, Великобритании, Германии, России, США, Франции, Южной Кореи и других стран. Отчеты и другие материалы группы, размещенные на сайте ООН, отражают значительный прогресс в организации работ по проблеме АКО.

Задачей группы является обмен информацией об активности разных стран по тематике АКО, а на данный момент главная задача — завершение подготовки документа, инициирующего работу органов ООН по выработке и принятию общего соглашения. Соглашение должно регламентировать процедуру принятия решений по этому чувствительному для всех стран вопросу.

Теперь о внутрироссийском аспекте. В России в течение последних 15 лет развивается инициативное движение по изучению и подготовке к решению проблемы АКО. В нем участвуют представители научных учреждений РАН, высших учебных заведений, предприятий космической индустрии и оборонного комплекса. Был проведен ряд совещаний (конференций) всероссийского масштаба, на которых подчеркивалась необходимость создания координационного органа в масштабах страны. В феврале 2007 г. при Совете РАН по космосу была создана «Экспертная рабочая группа по проблеме астероидно-кометной опасности». В нее вошли представители научных учреждений РАН, высших учебных заведений, Роскосмоса, МЧС, Росатома, Министерства обороны и других заинтересованных ведомств и организаций. Материалы Экспертной группы представлены на сайте: http://www.inasan.ru/rus/asteroid_hazard/.

Тема АКО вызывает большой резонанс в российском обществе. К сожалению, общественная активность рождает недостаточно выверенные с профессиональной точки зрения предложения, направляемые во властные уровни страны. Экспертная группа выполняет анализ таких обращений. Однако основная ее задача — разработка проекта Федеральной целевой научно-технической программы (ФЦНТП) «Система астероидно-кометной безопасности России».

Для осуществления этой программы совершенно необходима поддержка государства. Как видно из предыдущих разделов проблема АКО — многоплановая и требует для своего решения участия многих министерств и ведомств. В рамках учреждений РАН и образовательных учреждений проводятся отдельные фундаментальные исследования по направлению. Однако для организации полноценной службы обнаружения и каталогизации объектов, сближающихся с Землей, с возможным привлечением средств космического базирования, у этих учреждений средств недостаточно. Тем более, в сферу ответственности исследовательских учреждений фундаментального профиля не может входить отработка дорогостоящих технологий предотвращения и (или) уменьшения ущерба. Вот почему реализация программы может быть осуществлена только на государственном уровне. Координация со стороны государства — необходимое условие в реалиях России.

Как мы видели выше, NASA предписывается широкий спектр работ по проблеме АКО. Аналогично, в других странах (Германии, Великобритании, Франции и т. д.) проб-

лему астероидно-кометной угрозы координируют и финансируют соответствующие космические агентства. По-видимому, логично, чтобы функцию такого координатора в России выполнял Роскосмос, с тем чтобы работы по обнаружению, мониторингу, оценке рисков были бы поручены академическим и университетским исследовательским центрам.

Лекцию не принято заканчивать выводами и предложениями, но в данном случае, я думаю, это будет уместно. Уж очень важно именно сейчас, пока не поздно, начать конкретные программы работ по проблеме АКО. Итак...

Некоторые выводы и предложения:

1. Проблема астероидно-кометной опасности реальна, хотя усредненный уровень угрозы ниже, чем для ряда других природных, техногенных и социальных бедствий.
2. Проблема многоплановая, и ее решение требует четкой координации и поддержки со стороны государства.
3. Предлагаемой формой подхода к решению проблемы является разработка и выполнение соответствующей Федеральной целевой научно-технической программы.
4. При разумной постановке работы по проблеме АКО может дать России следующие конкретные (как сейчас модно говорить, «инновационные») и другие выгоды:
 - развитие новых технологий, применимых не только в науке, но и, что важнее, в прикладных направлениях, поскольку эта тема соседствует с важными вопросами исследования и уменьшения ущерба от космического мусора, контроля ближнего космического пространства, стимулирования и обоснования необхо-

димости исследований и опытно-конструкторских работ в целях совершенствования отечественной ракетной и другой военно-прикладной техники;

— стимулирование изучения опасных тел методами пилотируемой космонавтики (полет к Апофису, например, несравненно дешевле, а в научном плане не менее важен, чем полет на Марс!);

— трудно оцениваемый в денежных единицах, но вполне «играющий» на мировой арене научно-технический авторитет.

Литература

1. Астероидно-кометная опасность. Ред. А.Г. Сокольский. ИТА РАН, СПб, 1996.
2. Угроза с неба: рок или случайность? Ред. А.А. Боярчук, А.М. Мишиша, М.А. Смирнов. М: КосмоИнформ, 1999.
3. Катастрофические воздействия космических тел. Ред. В.В. Адушкин, И.В. Немчинов, М:ИКЦ Академкнига, 2005.
4. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра. Ред. Шустов Б.М., Рыхлова Л.В. М: Физматлит, 2009.