

24. Гончарский А В, Романов С Ю, Черепашук А М *Конечнопараметрические обратные задачи астрофизики* (М.: Изд-во МГУ, 1991)
25. Абубекеров М К, Антохина Э А, Черепашук А М *Астрон. журн.* **81** 108 (2004) [Abubekеров M K, Antokhina E A, Cherepashchuk A M *Astron. Rep.* **48** 89 (2004)]
26. Абубекеров М К, Антохина Э А, Черепашук А М *Астрон. журн.* **81** 606 (2004) [Abubekеров M K, Antokhina E A, Cherepashchuk A M *Astron. Rep.* **48** 550 (2004)]
27. Абубекеров М К и др. *Астрон. журн.* **83** 602 (2006) [Abubekеров M K et al. *Astron. Rep.* **50** 544 (2006)]
28. Мартынов Д Я *УФН* **108** 701 (1972) [Martynov D Ya *Sov. Phys. Usp.* **15** 365 (1972)]
29. Черепашук А М *Астрон. журн.* **78** 145 (2001) [Cherepashchuk A M *Astron. Rep.* **45** 120 (2001)]
30. Черепашук А М *УФН* **172** 959 (2002) [Cherepashchuk A M *Phys. Usp.* **45** 896 (2002)]
31. Постнов К А, Черепашук А М *Астрон. журн.* **80** 1075 (2003) [Postnov K A, Cherepashchuk A M *Astron. Rep.* **47** 989 (2003)]
32. Randall L, Sundrum R *Phys. Rev. Lett.* **83** 4690 (1999)
33. Hawking S W *Nature* **248** 30 (1974)
34. Long J C, Price J C *C.R Physique* **4** 337 (2003)
35. Johannsen T, Psaltis D, McClintock J E *Astrophys. J.* **691** 997 (2009)
36. Постнов К А, Прохоров М Е *Астрон. журн.* **78** 1025 (2001) [Postnov K A, Prokhorov M E *Astron. Rep.* **45** 899 (2001)]
37. Fryer C L, Kalogera V *Astrophys. J.* **554** 548 (2001)
38. Bailyn C D et al. *Astrophys. J.* **499** 367 (1998)
39. Черепашук А М, в сб. *Современные проблемы звездной эволюции. Труды междунар. конф. "Проблемы звездной эволюции", посвященной 80-летию А.Г. Масевич, Звенигород, 13–15 октября 1998 г.* (Под ред. Д З Вибге) (М.: ГЕОС, 1998) с. 198
40. Özel F et al. *Astrophys. J.* **725** 1918 (2010)
41. Тутуков А В, Черепашук А М *Астрон. журн.* **81** 43 (2004) [Tutukov A V, Cherepashchuk A M *Astron. Rep.* **48** 39 (2004)]
42. McClintock J E, Remillard R A, astro-ph/0306213
43. Remillard R A, McClintock J E *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **44** 49 (2006)
44. McClintock J E, in *Short-Period Binary Stars: Observations, Analyses, and Results* (Eds E F Milone, D A Leahy, D W Hobill) (Berlin: Springer, 2008) p. 3
45. Titarchuk L, Osherovich V *Astrophys. J. Lett.* **542** L111 (2000)
46. Abramowicz M A, Kluzniak W *Astron. Astrophys.* **374** L19 (2001)
47. Török G et al. *Astron. Astrophys.* **436** 1 (2005)
48. Kato Y *Publ. Astron. Soc. Jpn.* **56** 931 (2004)
49. McHardy I M et al. *Nature* **444** 730 (2006)
50. Merloni A, Heinz S, Di Matteo T *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **345** 1057 (2003)
51. Gillessen S et al. *Astrophys. J. Lett.* **707** L114 (2009)

PACS numbers: 89.60.Gg, 96.30.Cw, 96.30.Ys
DOI: 10.3367/UFNr.0181.201110e.1104

Астероидно-кометная опасность: о роли физических наук в решении проблемы

Б.М. Шустов

1. Введение

С начала 1990-х годов в России и вообще в мире заметно возросло внимание учёных, технических специалистов, политиков, военных и самой широкой общественности к проблеме астероидно-кометной опасности (АКО), т.е.

Б.М. Шустов. Институт астрономии РАН, Москва, РФ
E-mail: bshustov@inasan.ru

угрозе опасных столкновений достаточно крупных космических тел (астероидов и комет) с Землёй. За последние полтора десятилетия только на русском языке по этой тематике опубликовано несколько сотен научных работ и семь монографий. Довольно полный современный обзор по данному вопросу можно найти в недавней монографии [1], в которой впервые в отечественной литературе всесторонне и подробно рассмотрены все аспекты проблемы АКО.

При столкновении с телом размером 50 м при характерной скорости столкновения 20 км с^{-1} (как в Тунгусской катастрофе) выделится энергия около 10 Мт в тротиловом эквиваленте, что вызовет последствия, определяемые как локальная катастрофа. Площадь тотального поражения при столкновении с Тунгусским телом составила около 2000 км^2 . Соответственно столкновение с 300-метровым астероидом (например, астероидом Апофис) привело бы к взрыву, превышающему по разрушительному воздействию весь взрывной арсенал человечества. Результатом такого столкновения было бы тотальное поражение на площадях во многие десятки тысяч квадратных километров (региональная катастрофа) с тяжёлыми последствиями, ощутимыми на континентальных масштабах. При падении тел размером примерно более чем 1 км последствия будут иметь глобальный характер.

Опасные столкновения с малыми телами Солнечной системы относительно редки. В таблице 1 приведены оценки средней частоты столкновений с Землёй малых тел Солнечной системы (пылинок, метеороидов, астероидов и комет) и качественно представлены результаты столкновения.

Тела с очень малыми размерами входят в атмосферу Земли практически непрерывным потоком, не оказывая на нашу жизнь сколько-нибудь заметного влияния. Эффектные явления входа, разрушения в атмосфере и выпадения на поверхность планеты более крупных тел метрового размера также не создают серьёзных проблем. Для простейшего анализа полезно выделить следующие зависимости от размера D : энергия тела $E \propto D^3$, частота падения на Землю $f \propto D^{-2}$ (см. [2]). В первом приближении можно считать, что средняя энергия (разрушения) e , выделяемая в единицу времени на Земле вследствие столкновения с телами размером D , пропорциональна D . Это означает, что на большом интервале времени крупные тела несут большую энергию e , чем тела меньшего размера, т.е. представляют собой более высокую усреднённую степень угрозы (см. об усреднённом и конкретном риске в разделе 3). С другой стороны, падения тел размером более 1 км настолько редки (по шкале времени существования рода *homo sapiens*), что несмотря на чудовищные последствия, вызываемые ими, представляют собой главным образом предмет исследований для экспертов по геофизической и биологической истории Земли. Поэтому с практической точки зрения наибольшего внимания заслуживают столкновения с телами размером от 30–50 м до 0,5–1 км.

Характеризуя угрозу АКО, выделим следующее:

- для АКО практически нет верхнего предела опасного воздействия;
- как показывают оценки, усреднённый уровень угрозы мал (например, вероятность погибнуть от столкновения с астероидом или кометой для жителя Земли оценена в [3] как сравнимая с вероятностью гибели в

Таблица 1. Средняя частота и результаты столкновений малых тел с Землёй

Объект	Размер D	Характерный промежуток времени между столкновениями	Размер кратера, км	Результат столкновения с Землёй
Пылинка	$D < 0,1$ см	Практически непрерывно		Сгорает в атмосфере или выпадает на планету
Метеороид	$0,1 \text{ см} < D < 1 \text{ м}$			Сгорает в атмосфере
	$1 \text{ м} < D < 20\text{--}30 \text{ м}$	Несколько месяцев		Долетает до Земли с малой скоростью либо разрушается и полностью сгорает
	$D > 30 \text{ м}$	Около 300 лет	Нет	Воздушный взрыв, например Тунгусское событие
			$> 0,5$	Поверхностный взрыв, например Аризонский кратер Локальная катастрофа
Астероид или комета	$D > 100 \text{ м}$	Несколько тысяч лет	> 2	Наземный или подводный взрыв Региональная катастрофа
	$D > 1 \text{ км}$	Более 500 тыс. лет	> 2	Глобальная катастрофа
	$D \approx 10 \text{ км}$	100 млн лет	200	Конец цивилизации

авиакатастрофе), однако угроза конкретного события (столкновения) может оказаться главной не только для отдельной страны, но и для всего человечества;

- угроза имеет глобальный характер;
- глобальная угроза АКО, в отличие от всех остальных естественных космических угроз, может быть достаточно уверенно прогнозируема при условии, что будут решены задачи, обсуждаемые в разделах 2 и 3.

По своей структуре проблема АКО — комплексная. Выделяют её три основные составляющие.

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

В разделе 2 рассмотрены пути решения первоочередной задачи, стоящей перед наукой, — задачи обнаружения (выявления) всех опасных тел и определения их свойств. В разделе 3 обсуждаются способы оценки последствий столкновений и оценки общего риска. Поскольку даже в кратком сообщении трудно избежать освещения проблем противодействия и уменьшения ущерба, а также проблем организации работ в целом, в разделе 4 даны самые общие необходимые сведения по этим вопросам. В заключении (раздел 5) подчёркивается основной вывод — в решении проблемы АКО определяющую роль должны сыграть физические науки, прежде всего астрономия и геофизика.

2. Проблема обнаружения и детального изучения опасных тел

Для последующего изложения необходимо ввести некоторые определения. Под *объектами, сближающимися с Землей* (ОСЗ), понимают астероиды и кометы, орбиты которых характеризуются перигелийным расстоянием $q < 1,3$ а.е. Из их числа выделяют *потенциально опасные объекты* (ПОО) — тела, орбиты которых могут сближаться с орбитой Земли до минимального расстояния, не превышающего 7,5 млн км. Основанием для того, чтобы считать тела на орбитах, проходящих от Земли на

расстояниях менее 20 радиусов лунной орбиты, потенциально опасными, является то обстоятельство, что указанное расстояние — это характерный масштаб неопределённости орбиты малого тела (при прогнозировании примерно на сто лет вперёд) из-за неточных данных о параметрах движения тела в настоящую эпоху и несовершенства модели движения.

Обнаружение опасных тел и детальное изучение их свойств — первоочередная задача, стоящая перед исследователями, занимающимися поиском путей решения проблемы АКО.

В современной трактовке задача *обнаружения* должна рассматриваться как задача оперативного (по современным требованиям — не позднее чем за месяц до возможного столкновения) и достаточно полного (т.е. не ниже некоторого порога полноты, обычно 90 %) выявления опасных тел (размером от 50 м и более). Последующие регулярные наблюдения (*мониторинг*) как найденных в программах обнаружения, так и известных ранее опасных объектов должны обеспечить уточнение их орбит и максимально полное исследование их физических свойств. Тем самым появляется возможность более надёжно оценить вероятность и последствия столкновения и дать необходимую информацию, благодаря которой человечество могло бы заблаговременно принять соответствующие превентивные меры.

До середины 1990-х годов обнаружение опасных тел осуществлялось либо в рамках отдельных астрономических программ исследований астероидов и комет, либо случайно. Начиная с 1998 г. темп обнаружения ОСЗ резко возрос. Это связано с началом специальной программы "Космическая стража" (Spaceguard Survey), которая получила поддержку, в том числе финансовую, Конгресса США. При этом Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА) США обязалось приложить усилия к тому, чтобы в течение 10 лет открыть не менее 90 % крупных, диаметром более 1 км, астероидов, сближающихся с Землей. Считается, что к концу 2009 г. эта задача была выполнена.

Таблица 2. Количество "неучтённых" потенциально опасных объектов

Размер тела, км	Оценка числа необнаруженных ПОО	Доля необнаруженных ПОО, %
> 1	< 40	< 20
> 0,140	> 2×10^4	≥ 90
> 0,05	> 2×10^5	≥ 99

По данным финансируемого НАСА Центра малых планет (Minor Planet Center) при Международном астрономическом союзе (<http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mrc.html>), по состоянию на середину апреля 2011 г. всего было обнаружено около 8000 ОСЗ (подавляющее большинство которых обнаружено с помощью наблюдательных средств США и координируемой США сети). Основная часть ОСЗ — это астероиды, комет немного, но нужно учитывать, что кометы представляют собой самый сложный для прогнозирования их движения класс малых тел. По данным на конец июня 2011 г. количество ПОО составило 1237, включая 70 комет.

Пожалуй, главным является вопрос о полноте обнаружения ОСЗ. В таблице 2 приведены оценки количества "неучтённых" потенциально опасных объектов. По оценкам, число ПОО размером более 100 м достигает нескольких десятков тысяч, а число ПОО размером более 50 м — нескольких сотен тысяч. Эти оценки являются довольно неопределёнными, но в любом случае число необнаруженных объектов почти в сто раз превышает число известных ПОО. Менее всего мы информированы о телах, представляющих собой наибольшую угрозу!

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 и условия работы телескопов, предназначенных для обнаружения ОСЗ размером от 50–100 м, вполне определены:

- поле зрения инструмента не менее нескольких (желательно — десяти) квадратных градусов;
- проникающая способность не хуже 22-й звёздной величины при экспозициях не более нескольких десятков секунд, следовательно, апертура телескопа должна быть не менее 1–2 м. Для космических телескопов инфракрасного (ИК) диапазона она может быть меньше, так как астероиды большую часть поглощаемой ими солнечной энергии переизлучают в ИК-диапазоне (на длине волны 5–15 мкм);
- необходимость большого количества ясных ночей с хорошим качеством изображения (для наземных телескопов);
- наличие очень мощного компьютерного оборудования и математического обеспечения для получения оперативной информации о новых объектах в течение ночи и окончательной обработки до начала следующей ночи.

В настоящий момент в США осуществляется несколько проектов создания специализированных инструментов, пригодных для обнаружения опасных объектов. Среди них — проект Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System), предназначенный прежде всего для решения задач военно-воздушных сил

США, ответственных за контроль космического пространства.

Телескоп Pan-STARRS представляет собой систему из четырёх телескопов апертурой 1,8 м. Поле зрения каждого телескопа 3 градуса, ПЗС-приёмник (ПЗС — прибор с зарядовой связью) имеет огромные размеры — 1,4 млрд пикселей. За 60 с достигается 24-я звёздная величина. В режиме обзорного поиска эти телескопы будут способны покрыть всю доступную площадь неба трижды в течение месяца. Пока создан только первый (пробный) телескоп — PS1, и он уже работает [4]. Ещё более крупный, 8-метровый, телескоп LSST (The Large Synoptic Survey Telescope) является проектом уникальной системы "гражданского назначения", предназначенной для проведения обзоров неба [5] как в целях астрофизики и космологии, так и для поисков опасных тел. Система будет способна каждые 15 с осмотреть участок неба, в 50 раз превышающий по площади полную Луну, с регистрацией объектов до 24,5 звёздной величины. Цифровая камера телескопа будет иметь 3×10^9 пикселей, а полный объём информации, получаемый в течение одной ночи, будет эквивалентен объёму информации, занимающей 7000 DVD-дисков. Предполагается, что система будет введена в строй после 2015 г.

Радарные наблюдения астероидов очень ценны, поскольку позволяют получить не только очень точную информацию об орбитальном движении астероида, но и данные о его физических свойствах (размере, форме, составе поверхностных слоёв и т.д.). Радиолокация отдельных астероидов выполняется в основном в радиоастрономических обсерваториях Голдстоун и Аресибо (США) в количестве 10–15 объектов ежегодно [6]. Дальность действия радаров ограничена расстояниями, не превышающими 70 млн км.

В России современных инструментов для эффективного массового обнаружения обсуждаемых опасных тел пока нет, но работа в этом направлении ведётся. Наиболее перспективным представляется проект широкоугольного телескопа АЗТ-33ВМ Института солнечно-земной физики СО РАН [7]. Параметры АЗТ-33ВМ лишь ненамного уступают параметрам телескопов Pan-STARRS. При поле зрения около трёх градусов и диаметре главного зеркала 1,6 м этот телескоп будет способен обнаруживать объекты 24-й звёздной величины за двухминутную экспозицию.

И за рубежом, и в России разрабатываются системы космического базирования для обнаружения опасных тел. Такие системы имеют значительные преимущества перед наземными. Эти системы появятся в космосе уже в этом десятилетии (см. более подробное обсуждение в [1]).

Проблема использования существующих астрономических инструментов (сетей) для задач мониторинга опасных объектов является не столько технической, сколько организационной. Пока ещё не создан организационный "интерфейс", позволяющий использовать эти инструменты (сети инструментов) в режиме службы, а решение задач обнаружения и мониторинга в проблеме АКО требует создания именно службы, т.е. регулярного и стандартизированного режима работы вовлечённых наблюдательных средств.

Обработка информации о наблюдаемых положениях объектов, присвоение предварительных обозначений объектам, идентификация объектов, предварительное определение орбит и их последующее уточнение в

настоящее время полностью выполняются под контролем Центра малых планет (ЦМП) (США). ЦМП публикует информацию об объектах, для которых необходимы дополнительные наблюдения с целью подтверждения их открытия, уточнения орбит и других характеристик. Прогнозирование движения потенциально опасных объектов, поиск их тесных сближений с Землёй и получение оценки вероятности столкновений на протяжении ближайших десятилетий будут регулярно проводиться (и проводятся уже сейчас) в Лаборатории реактивного движения США и в Пизанском университете (Италия).

В России изучение движения ОСЗ проводится в ряде исследовательских центров, однако системная организация мероприятий по интеграции информационных ресурсов во всероссийском масштабе пока не развита. В качестве первоочередного шага необходимо создание национального информационно-аналитического центра сбора и обработки информации по проблеме АКО.

3. Проблема оценки риска

Оценка уровня угрозы (риска) — весьма важная составляющая проблемы АКО, поскольку недооценка риска может привести к тяжелейшим последствиям, а переоценка — к колоссальным материальным и социальным потерям.

Можно выделить понятия *усреднённого риска* и *риска конкретного столкновения*. Усреднённая степень угрозы рассчитывается на большой интервал времени, и, как мы видели выше, эта фоновая угроза не слишком значительна.

Степень угрозы (риск) определяется в первом приближении произведением вероятности столкновения и тяжести возможных последствий. Обе эти величины определяются с очень большими относительными ошибками. Тем не менее оценка риска должна быть сделана, причём своевременно и надёжно. Надёжная оценка степени риска конкретного события (столкновения) и своевременная выдача "сигнала тревоги" — это главный результат, который обязана дать наука, занимающаяся проблемой АКО. Здесь требуется весьма взвешенный научный подход, и ответственность науки перед обществом очень высока.

Несколько упрощая, можно сказать, что за надёжную оценку факторов, составляющих риск, отвечают фундаментальные науки: астрономия, в частности небесная механика, должна дать оценку вероятности конкретного события (столкновения), а геофизика и физика взрыва совместно с науками экономического и социального направлений отвечают за оценку последствий столкновений.

Для оценки риска, в основном в целях информирования общества, применяется Туринская шкала, которая напоминает принятую в ряде стран шкалу угроз государственного масштаба ("оранжевая", "красная" и т.д.). Более профессиональная Палермская шкала (введена в [8]) представляет собой десятичные логарифмы величин относительного риска R , определяемого как $R = P_i(f_B \times DT)$, где P_i — вероятность конкретного столкновения, DT — время в годах до ожидаемого события, f_B — количество столкновений в год с энергией не менее E (в мегатоннах тротилового эквивалента), определяемое как $f_B = 0,03 \times E^{-4/5}$. Пока не обнаружено объектов, имеющих тревожно высокий уровень риска, но это лишь

следствие неполноты наших знаний. Оценки риска как по Туринской, так и по Палермской шкалам являются весьма приближёнными. При конкретной угрозе столкновения расчёт риска всегда индивидуален.

Вычислить вероятность столкновения пока удаётся лишь с большими ошибками. Автор настоящей статьи проанализировал ряд работ по оценке вероятности столкновения в 2036 г. с астероидом Апофис. Разброс результатов, приведённых в различных статьях, составил пять (!) порядков величины. Очевидно, что для создания более надёжной (сертифицированной) методики астрономам придётся критически поработать как над согласованием применяемых математических методов, так и над описанием физических процессов, учитываемых в моделях движения.

Конечно, подходы классической небесной механики, прошедшие проверку в течение нескольких столетий, используются в полном объёме, но даже в этой области возможны очень существенные нововведения. Пример — сравнительно недавний астрономический "бум", связанный с массовым осознанием важности эффекта Ярковского и его модификации — эффекта YORP (Yarkovsky – O'Keefe – Radzievskii – Paddack) — для эволюции орбит астероидов [10]. Есть некоторый прогресс и в решении весьма сложной задачи расчёта орбит комет. Сложность этой задачи обусловлена множеством дополнительных плохо рассчитываемых негравитационных факторов. Например, нереально с высокой точностью рассчитать действие газовых потоков, исходящих из ядра испаряющейся кометы, на движение её ядра. Эти соображения относятся и 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 или за год до их появления в окрестности Солнца. Типичный пример, приведённый в работе [11]: комета C/1983 H1 (IRAS – Araki – Alcock) с орбитальным периодом 963,22 года, открытая 27 апреля 1983 г., 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, а их ядра могут распадаться на крупные фрагменты. Всё это существенно усложняет вопрос о противодействии их возможному падению на Землю.

Мы рассмотрели некоторые астрономические аспекты. Не менее важной составляющей хорошей методики оценки риска является и точная оценка последствий возможного столкновения. Такая оценка должна учитывать много конкретных обстоятельств: свойства данного тела, условия входа в атмосферу, вероятное место падения, дату и время события, рельеф дна и берегов (при падении астероида в море, сопровождающемся возникновением цунами) и ряд других важных обстоятельств экономического и социального плана. В монографии [12] подробно рассмотрены различные аспекты катастрофических последствий падения на Землю астероида или кометы. Однако отметим, что пока не существует общепринятых стандартов и методик проведения надёжных расчётов риска. Необходимость этой работы очевидна. Здесь особенно важно участие специалистов Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий (МЧС), экспертов по методам

оценки рисков в катастрофах природного характера (см., например, [13]).

4. Другие аспекты проблемы астероидно-кометной опасности

Выбор метода противодействия падению космических тел на Землю зависит от размеров опасного тела и времени упреждения (времени, остающегося до столкновения). Методы можно разделить на две группы: уничтожение (дисперсия) угрожающего тела и отклонение (увод) его с угрожающей орбиты. Если время упреждения велико (не менее нескольких лет), то, по современным представлениям, наиболее целесообразным является увод тела с орбиты столкновения. Экспертами обсуждается более десяти способов увода.

При малом времени упреждения и небольшой массе тела можно добиться его дробления на части, не представляющие угрозы, например, с помощью инерционных механических расщепителей. В случае большой массы тела единственным методом противодействия является его дисперсия посредством ядерных (термоядерных) взрывов. При размерах астероида более 0,5 км способов защититься от такой угрозы пока не существует. Использование указанных методов требует серьёзной предварительной проработки. До сих пор остаётся очень большая неопределённость в результатах воздействия. Подробно эти вопросы обсуждаются в [1].

Важнейшим необходимым условием эффективного подхода к решению проблемы АКО является кооперация как на российском, так и на международном уровнях. В 2007 г. для координации исследований по проблеме в России при Совете РАН по космосу была создана Экспертная рабочая группа по проблеме астероидно-кометной опасности, преобразованная в начале 2011 г. в Экспертную рабочую группу по космическим угрозам. В состав группы вошли представители научных учреждений РАН, вузов, Роскосмоса, МЧС, Росатома, Министерства обороны Российской Федерации и других заинтересованных ведомств и организаций. Материалы Экспертной группы представлены на странице сайта http://www.inasan.ru/rus/asteroid_hazard/.

Главная задача этой группы — подготовка концепции программы федерального уровня для организации системы противодействия АКО. Определённую аналогию здесь можно провести с европейской программой "Система предупреждения о космических ситуациях" (Space Situational Awareness — SSA) [14], разворачивание которой идёт с 2009 г.

Обнаружение и мониторинг всех опасных объектов, а также их отклонение (уничтожение) и уменьшение ущерба — трудные задачи для одной страны, даже самой мощной. Очевидны основные направления, в которых кооперация особенно важна. Это формирование глобальной сети обнаружения и мониторинга опасных объектов и координация мер по предотвращению и уменьшению ущерба.

Для предотвращения грозящего удара должна быть согласована и начата действовать под эгидой Организации объединённых наций международная процедура принятия решений. В 2001 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. Основная задача — подготовка документа, регламентирующего принципы взаимодействия государств при организации работ по проблеме АКО. Подробнее проблемы кооперации обсуждаются в [15].

5. Заключение

Выводы, которыми завершается эта статья, представляются очевидными.

1. Проблема АКО реальна, в мире ею занимаются всерьёз, и Россия не может оставаться в стороне от общего развития.

2. Надёжная оценка степени риска конкретного события (столкновения) и своевременная выдача "сигнала тревоги" — главный результат, который обязана дать наука, занимающаяся проблемой АКО. Требуется весьма взвешенный научный подход, и ответственность науки перед обществом очень высока.

3. В решении проблемы АКО определяющую роль должны сыграть физические науки, прежде всего астрономия и геофизика.

4. Координация со стороны государства — необходимое условие в реалиях России. Для эффективной работы нужна программа федерального уровня.

Список литературы

1. Шустов Б М, Рыхлова Л В (Ред.) *Астероидно-кометная опасность* (М.: Физматлит, 2010)
2. NASA. 2006 Near-Earth Object Survey and Deflection Study. Final Report, December 2006, http://www.hq.nasa.gov/office/pao/FOIA/NEO_Analysis_Doc.pdf
3. Morrison D et al., in *Asteroids III* (Eds W F Bottke (Jr.) et al.) (Tucson, AZ: Univ. of Arizona Press, 2002) p. 739
4. Chambers K C *Bull. Am. Astron. Soc.* **41** 270 (2009)
5. Ivezić Ž et al. *Serb. Astron. J.* (176) 1 (2008)
6. Ostro S J, Giorgini J D, Benner L A M, in *Near Earth Objects, our Celestial Neighbors: Opportunity and Risk* (Proc. IAU Symp. 236, Eds G B Valsecchi, D Vokrouhlický, A Milani) (Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007) p. 143
7. Денисенко С А и др. *Оптический журн.* **76** (10) 48 (2009) [Denisenko S A et al. *J. Opt. Technol.* **76** 629 (2009)]
8. Chesley S R et al. *Icarus* **159** 423 (2002)
9. Neukum G, Ivanov B A, in *Hazards due to Comets and Asteroids* (Eds T Gehrels, M S Matthews, A Schumann) (Tucson, AZ: Univ. of Arizona Press, 1994) p. 359
10. Bottke W F (Jr.) et al. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **34** 157 (2006)
11. Huebner W F et al. *Solar Syst. Res.* **43** 334 (2009)
12. Адушкин В В, Немчинов И В (Ред.) *Катастрофические воздействия космических тел* (М.: Академкнига, 2005)
13. Акимов В А, Лесных В В, Радаев Н Н *Риски в природе, техносфере, обществе и экономике* (М.: Деловой экспресс, 2004)
14. Бобринский Н, Дель Монте Л *Космические иссл.* **48** 402 (2010) [Bobrinsky N, Del Monte L *Cosmic Res.* **48** 392 (2010)]
15. Шустов Б М *Космические иссл.* **48** 388 (2010) [Shustov B M *Cosmic Res.* **48** 378 (2010)]