

УДК 523.44+519.878

КОНЦЕПЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКИМ УГРОЗАМ: АСТРОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

© 2013 г. Б. М. Шустов¹, Л. В. Рыхлова¹, Ю. П. Кулешов², Ю. Н. Дубов², К. С. Елкин³, С. С. Вениаминов⁴, Г. К. Боровин⁵, И. Е. Молотов⁵, С. А. Нароенков¹, С. И. Барабанов¹, В. В. Емельяненко¹, А. В. Девяткин⁶, Ю. Д. Медведев⁷, В. А. Шор⁷, К. В. Холшевников⁸

¹Институт астрономии РАН

²ОАО «Корпорация «Комета»

³ФГУП ЦНИИМаиш

⁴НИЦ РКО 4 ЦНИИ МО РФ

⁵Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

⁶Главная астрономическая (Пулковская) обсерватория РАН

⁷Институт прикладной астрономии РАН

⁸Санкт-Петербургский государственный университет

Поступила в редакцию 01.04.2013 г.

Перед фундаментальной наукой астрономией и, прежде всего, перед ее ветвью, ответственной за изучение Солнечной системы, природа и развитие человеческой цивилизации поставили важнейшую практическую задачу изучения космических угроз и поиска методов противодействия этим угрозам. Во исполнение совместного Решения Роскосмоса и Совета РАН по космосу от 23 июня 2010 г. Институтом астрономии РАН, совместно с другими научными и промышленными организациями, подготовлен проект Концепции программы федерального уровня, направленной на создание системы обнаружения и противодействия космическим угрозам. В данной работе рассматриваются основные идеи и астрономическое содержание разработанной Концепции.

DOI: 10.7868/S0320930X13040221

ВВЕДЕНИЕ

Риски — неизбежная сторона жизни. Одно из главных условий выживания и успешного развития человечества — умение прогнозировать наиболее существенные риски и способность парировать угрозы, связанные с этими рисками. Это важнейшая задача науки и техники. Развитие человеческой цивилизации сопровождается пониманием мира, в котором мы живем, и самого человека. При этом выявляются новые, ранее неизвестные угрозы. К таким угрозам можно отнести космические угрозы. Наиболее серьезными космическими угрозами считаются следующие:

- **Космический мусор** — катастрофическое техногенное засорение ближнего космоса, представляющее угрозу сокращения или даже прекращения космической деятельности человечества.

- **Астероидно-кометная опасность** (АКО) — угроза столкновения Земли с малыми телами Солнечной системы (астероидами и кометами) с причинением серьезного ущерба населению планеты вплоть до уничтожения цивилизации.

- **Космическая погода** — плохо прогнозируемые изменения активности Солнца, представляющие угрозу серьезных потерь, прежде всего в

сфере производственной деятельности (в энергетике, связи и др.).

Все эти угрозы вполне реальны, и в мире предпринимаются значительные усилия по противодействию им, хотя следует признать, что проблема космических угроз пока далека от решения. В первую очередь это относится к проблеме космического мусора.

Согласно (Вениаминов, Червонов, 2012), в настоящее время на низких околоземных орбитах находится более 10000 тонн техногенных объектов. Общее число объектов поперечником более 1 см оценивается в 600 тысяч. Из них каталогизировано и постоянно отслеживается наземными радиолокационными и оптическими средствами не более 5%. Лишь около 6% из этого списка — действующие космические аппараты (КА). Остальные объекты — космический мусор (КМ). Столкновение действующего космического аппарата с любым из этих объектов может повредить его или даже вывести из строя.

Наиболее засорены низкие околоземные орбиты, а также зона геостационарной орбиты (ГСО). По сообщению руководителя Роскосмоса В.А. Поповкина на заседании «круглого стола» в

Совете Федерации РФ 12 марта 2013 г., частота фатальных столкновений КА с объектами космического мусора быстро увеличивается и на начало 2013 г. составляет одно столкновение в полтора года. Главная проблема состоит в том, что подавляющая часть (более 95%) опасных фрагментов космического мусора остается необнаруженной. Поэтому возникает следующая проблема — проблема защиты КА. Эффективных мер защиты от опасных объектов космического мусора (размером более 1 см на низких орбитах и более 3 см на ГСО) практически нет.

Похожая ситуация в проблеме астероидно-кометной опасности (АКО). Количество тел, сравнимых или превышающих по размерам Тунгусское тело и являющихся потенциально опасными в смысле столкновения с Землей на разумном (сто—двести лет) временном интервале, оценивается не менее чем в 200—300 тысяч, а открыто их пока не более 2%! (Шустов, 2010). Это означает, что неожиданное появление опасных тел вблизи Земли — не исключение, а типичная ситуация, и на принятие мер по противодействию и уменьшению ущерба может быть очень мало времени.

Отметим, что если проблема космического мусора обсуждается уже не один десяток лет, то проблема АКО привлекает особое внимание лишь в последние полтора десятилетия. Вызвано это тем, что появление современных широкоугольных телескопов и специализированных программ наблюдений привело к резкому росту эффективности обнаружения опасных небесных тел и новая информация заставила по-иному взглянуть на проблему АКО. По тематике астероидно-кометной опасности опубликовано множество научных статей и книг. Наиболее содержательные современные отечественные монографии (“Угроза с неба: рок или случайность?”, 1999; “Катастрофические воздействия космических тел”, 2005; “Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра”, 2010) освещают различные аспекты этой проблемы. Мы лишь кратко напомним ее суть.

На Землю выпадает огромное количество тел естественного происхождения. Общая масса притока такого вещества оценивается во многие десятки тонн в сутки. Большую часть составляют очень мелкие тела, не представляющие никакой опасности. Нижнюю границу размеров опасного небесного тела (ОНТ) разумно определить в 50 м (примерные размеры Тунгусского тела). Средняя оценка энергии, выделяющейся при столкновении такого тела с Землей, сравнима с энергией взрыва очень мощного термоядерного устройства.

Крупные тела падают на Землю гораздо реже (для тел размером ~1 км частота столкновений оценивается как 1 раз примерно в миллион лет). Именно поэтому столкновения с телами размером 50—500 м, происходящие на временных масштабах существования биологического вида *homo*

sapiens (около 200000 лет), составляют главное содержание АКО. Например, метеороид, взорвавшийся над Челябинском 15 февраля 2013 г., не относится к числу опасных, поскольку его размер был оценен примерно в 17 м. Однако при более крутой траектории входа метеороида в атмосферу последствия взрыва могли быть гораздо более катастрофичными. И не последнюю роль в такой ситуации могла бы сыграть насыщенность города высокотехнологичными предприятиями.

Важнейшая особенность проблемы АКО состоит в том, что усредненный (на большом интервале времени — тысячелетия и более) уровень угрозы невелик, так как падения крупных тел случаются довольно редко. Но любое конкретное событие (столкновение) или даже значимый риск такого события становится важнейшим для всего человечества. Вполне рядовое с астрономической точки зрения Челябинское событие (Емельяненко и др., 2013) привлекло всеобщее внимание.

В России проблеме космических угроз уделяется все больше внимания не только в научно-технической среде, но и в структурах государственной власти. Для координации исследований в этом направлении при Совете РАН по космосу создана “Экспертная рабочая группа по космическим угрозам”. Тематика работы группы включает вопросы, связанные с исследованием проблем космического мусора и АКО, которые в определенном смысле близки (по инструментальному и методическому подходам). Пока космическая погода не входит в список рабочих направлений группы (это предложение находится в процессе обсуждения), поэтому в дальнейшем в этой работе мы будем обсуждать только опасности от космического мусора и АКО.

В состав группы вошли эксперты — представители организаций и учреждений РАН, Роскосмоса, МОН РФ, МЧС, Росатома, МО РФ и других заинтересованных ведомств и организаций (см. страницу группы по адресу http://www.inasan.ru/rus/asteroid_hazard/). Состав группы открытый, новые члены включаются в ее состав по предложениям заинтересованных организаций после утверждения Советом РАН по космосу. Главные требования — профессионализм и конструктивный настрой.

Группа выполняет координационные функции по направлению, например, организует всероссийские совещания по различным аспектам проблемы космических угроз, предлагает и проводит координированные программы наблюдений (см., например, (Ибрагимов и др., 2013)) и т.д., а также проводит экспертизу различных проектов, направляемых в руководящие органы страны. И все же главная задача группы — выработка проекта (концепции) программы федерального уровня “Создание Российской системы противодействия космическим угрозам”. Это работа с выраженным практическим значением. Мы считаем,

что такие вопросы необходимо обсуждать и в изданиях, предназначенных для публикации результатов фундаментальных исследований. Это очень существенно, что перед фундаментальной наукой астрономией и, прежде всего, перед ее направлением, связанным с исследованием Солнечной системы, природа и развитие человеческой цивилизации поставили важнейшую практическую задачу изучения обсуждаемых здесь космических угроз и поиска методов противодействия этим угрозам.

На состоявшемся 23 июня 2010 г. заседании Президиума Научно-технического совета Роскосмоса и Бюро Совета РАН по космосу работа Экспертной рабочей группы была одобрена. В постановительной части принятого совместного решения поручено:

...РАН совместно с Роскосмосом

1. Продолжить работу по формированию концепции Федеральной целевой программы по борьбе с астероидно-кометной опасностью.

2. Принимая во внимание актуальность безотлагательного обеспечения координации работ в этой области, подготовить проект Комплексной целевой программы работ по созданию системы, обеспечивающей решение проблем астероидно-кометной опасности и космического мусора...

Во исполнение этого решения проект Концепции федеральной целевой программы “Создание российской системы противодействия космическим угрозам” был подготовлен и представлен в Роскосмос. В этом концептуальном документе обрисована проблема, описано состояние дел в мире и в России и указаны пути решения проблемы. Федеральные органы власти могут потребовать доработки Концепции, могут отвергнуть ее, либо, в благоприятном случае, одобрить, и тогда она станет базой для разработки детального плана Программы работ по направлению. Для разработки составляющих элементов такой Программы потребуются усилия многих специалистов различных отраслей науки и промышленности. Программа, помимо решения основной задачи, обязательно будет иметь серьезное значение для развития астрономических исследований в стране на значительный период времени. Этим вызывается интерес, проявляемый к содержанию проекта Концепции со стороны многих ученых (не только астрономов!). Поэтому данную статью можно считать откликом на высказываемый интерес.

В работе (Шустов, Рыхлова, 2011) уже были представлены некоторые элементы Концепции. Здесь мы кратко представляем структуру и суть Концепции в целом, уделив основное внимание ее астрономическому содержанию и возникающим фундаментальным проблемам. Кроме того, в этой работе кратко обсуждаются практические рекомендации по развитию астрономических исследований в России и организационные аспекты,

наиболее важные для эффективного участия астрономов в решении проблемы космических угроз.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ КОНЦЕПЦИИ

Формат такого документа, как Концепция, отличается от формата научно-технического отчета и, тем более, от научной статьи. Авторам пришлось познакомиться с технологией создания таких документов. Концепция разрабатывалась в соответствии с “Порядком разработки и реализации федеральных целевых программ и межгосударственных целевых программ, в осуществлении которых участвует Российская Федерация”, утвержденном Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 августа 1995 г. № 594, в редакции от 24.05.2010 № 565.

Напомним, что целевые программы представляют собой увязанный по задачам, ресурсам и срокам осуществления комплекс мероприятий, обеспечивающих эффективное решение системных проблем. Целевые программы являются одним из важнейших средств реализации политики государства и сосредоточены на реализации крупномасштабных, наиболее важных для государства инвестиционных, научно-технических и инновационных проектов. Целевая программа может включать в себя несколько подпрограмм, направленных на решение конкретных задач в рамках целевой программы. Деление целевой программы на подпрограммы осуществляется, исходя из масштабов и сложности решаемых проблем, а также необходимости рациональной организации их решения. В проекте Концепции 13 разделов. Этот 25-страничный документ достаточно формализован. Ниже мы кратко представим и прокомментируем содержание разделов.

Раздел 1. Обоснование соответствия решаемой проблемы и целей Программы приоритетным задачам социально-экономического развития Российской Федерации.

В соответствии со Стратегией национальной безопасности Российской Федерации до 2020 года, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 12 мая 2009 г. № 537, обеспечение национальной безопасности достигается путем совершенствования и развития единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, ее интеграции с аналогичными иностранными системами. Это положение определяет необходимость сопряжения Российской системы противодействия космическим угрозам с Российской системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС).

В соответствии с Концепцией долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 г. № 1662-р,

планируется поддержание высокого уровня национальной безопасности, включая безопасность населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Такой подход требует реализации комплекса взаимосвязанных по ресурсам, срокам и этапам преобразований. Достижение данной цели ориентировано на смену приоритетов при защите населения и территорий от опасности и угроз различного характера — вместо “культуры реагирования” на чрезвычайные ситуации на первое место выдвигается “культура предупреждения”.

Мы полагаем, что предлагаемая Концепция отражает основные идеи представленных выше документов.

Раздел 2. Обоснование целесообразности решения проблемы космических угроз программно-целевым методом.

В России в структуре МО РФ действует Система Контроля Космического Пространства (СККП). Она работает успешно, но круг поставленных задач, естественно, ограничен. Никаких работ по проблеме АКО в рамках СККП не ведется. Проблема космического мусора также остается в основном за рамками СККП. При этом, если по проблеме техногенного космического мусора в системе Роскосмоса выполняются некоторые проекты, то в части астероидно-кометной опасности ведутся лишь отдельные НИР совместно с РАН и в инициативном порядке проводятся исследования отдельными университетскими группами. В целом следует признать, что в России до настоящего времени не было программы согласованных работ по АКО, а необходимость в ней давно назрела, так как отставание России в этой области очевидно. Первый опыт проведения согласованной программы наблюдений опасного астероида Апофис описан в (Ибрагимов и др., 2013), но это — опыт координации на уровне исследований по отдельному объекту. В практическом плане без системной поддержки эффективность таких работ не может быть высокой.

Существуют два аспекта, которые не позволяют полностью рассчитывать на возможности зарубежных систем противодействия астероидно-кометной опасности. Первый аспект заключается в том, что опасные тела часто обнаруживаются лишь на подлете к Земле. Вероятность столкновения опасного тела с поверхностью земли на территории России (в силу ее географического положения) выше, чем у других стран, и поэтому необходимость быстрого оповещения и оперативного принятия мер противодействия для России наиболее остра.

Второй аспект в какой-то степени связан с первым и заключается в возможности равноправного или приоритетного доступа к необходимым данным об обнаруженных телах. Такая возможность может быть обеспечена только при наличии

собственной полноценной системы обнаружения, каталогизации и оперативной информационно-аналитической обработки информации в информационно-аналитическом центре до определения степени риска столкновения с Землей для любого потенциально опасного тела.

Выделяют следующие основные составляющие проблемы астероидно-кометной опасности (как и проблемы космического мусора), требующие практического решения:

- проблема обнаружения (выявления) всех опасных тел;

- проблема определения степени угрозы (оценка рисков) и принятия решений;

- проблема противодействия и уменьшения ущерба.

Очевидно, что для решения таких задач необходимо участие и взаимодействие различных министерств и ведомств, поскольку проблема создания российской (и, мы полагаем, — любой другой) системы противодействия космическим угрозам носит комплексный характер. Ее решение требует продуманной координации действий органов государственной власти на федеральном и региональном уровнях, предполагает обеспечение тесного и активного сотрудничества с заинтересованными сторонами на международном уровне.

Эффективная государственная поддержка решения указанной проблемы в рамках федеральной целевой программы позволит осуществлять комплексный и единый методологический подход к ее решению с учетом взаимосвязи с другими реализуемыми и планируемыми к реализации действиями государства.

Раздел 3. Характеристика и прогноз развития сложившейся проблемной ситуации в рассматриваемой сфере без использования программно-целевого метода.

Альтернативным направлением работ является “ничего неделание” (заведомо неприемлемый вариант) или автономное решение указанных выше задач отдельными министерствами, ведомствами и предприятиями при использовании своих внутренних возможностей, существующего международного рынка наукоемкой продукции и, возможно, некоторых наработанных связей с Российской академией наук. В таком случае каждая организация должна будет переориентировать часть своих специалистов, создавать свои внутренние специализированные подразделения для решения частных задач и решать эти задачи в силу своего понимания без увязки с другими организациями. К сожалению, такие попытки делаются не в последнюю очередь из внутренних корпоративных соображений, но нам они не представляются перспективными. В проекте Концепции приводится аргументация, доказывающая, что масштабность проблемы не дает возможностей

отдельным предприятиям решить весь комплекс задач самостоятельно.

Раздел 4. Возможные варианты решения проблемы, оценка преимуществ и рисков, возникающих при различных вариантах решения проблемы.

При подготовке проекта Концепции были проанализированы два варианта решения проблемы: вариант, основанный на стратегии планомерного развития, и вариант, основанный на стратегии интенсивного решения проблем. При реализации первого варианта (стратегия планомерного развития) выделяются первоочередные работы, необходимые для обеспечения безопасности России от космических угроз с учетом независимости от иностранных информационных средств. К таким работам относятся:

1. Создание новых и развитие существующих средств обнаружения опасных небесных тел в околоземном космическом пространстве, в том числе:

1.1. Создание новых оптических наземных средств обнаружения опасных небесных тел.

1.2. Развитие существующих средств мониторинга космического пространства в оптическом диапазоне.

1.3. Развитие радиолокационных комплексов наблюдения космического мусора.

1.4. Создание астрономического космического комплекса обнаружения и определения параметров движения опасных для Земли астероидов и комет, а также космического мусора.

2. Создание информационно-аналитического центра системы противодействия космическим угрозам (ИАЦ СПКУ), включающего в качестве основных составляющих центр по космическому мусору и центр по опасным небесным телам (астероидам и кометам).

3. Развитие и завершение работ по созданию Автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП) – в части космического мусора.

4. Разработка системы информационного взаимодействия, позволяющей осуществлять сбор данных со всех средств наблюдения, хранение, анализ и обмен информацией с соответствующими службами российских министерств и ведомств, а также с международными центрами.

5. Создание сертифицированной системы оценки риска со стороны космических угроз и механизма выдачи в уполномоченные государственные органы своевременных и надежных оценок уровня риска, что необходимо для принятия решений совместно с международными организациями об эффективном противодействии угрозам и/или уменьшении ущерба.

В Концепции также предусматривается развитие технологий противодействия и уменьшения ущерба.

Вариант, основанный на стратегии интенсивного решения проблем, отличается от первого главным образом тем, что предполагается ускоренное (в 1.5 раза более скорое) создание системы противодействия космическим угрозам. Соответственно, и финансирование по второму варианту должно быть гораздо более интенсивным.

Раздел 5. Ориентировочные сроки и этапы решения проблемы программно-целевым методом.

Текстовое содержание этого раздела можно выразить графическим способом. На рис. 1 схематично показаны этапы создания системы противодействия космическим угрозам в части АКО. Ход функции $D_{90}(t)$ (смысл этой величины состоит в том, что на данный момент времени будет обнаружено не менее 90% опасных тел, крупнее чем D_{90}), и $D_{def}(t)$ (на данный момент времени тела размером менее D_{def} гарантированно отклоняются или уничтожаются) – показаны условно. Для D_{min} , D_{max} – минимального и максимального размера опасных тел – мы полагаем значения 50 и 500 м соответственно (см. Введение).

Заложенные в рисунке простые идеи можно сформулировать так: со временем (после начала выполнения Программы) размер тел, для которых достигнута 90%-ная полнота обнаружения, уменьшается, а размер тел, которые возможно гарантированно отклонить или уничтожить, увеличивается. Можно выделить этапы – развертывания, обнаружения и противодействия. Более подробно содержание этапов поясняется в табл. 1.

По сравнению с проектом Концепции, все сроки в таблице сдвинуты “вправо” на два года, поскольку проект создавался в 2010–2011 гг.

Раздел 6. Предложения по целям и задачам Программы, целевым индикаторам и показателям, позволяющим оценивать ход реализации целевой программы.

Основными целевыми индикаторами выполнения Программы в отношении проблемы АКО являются:

- обеспечение требуемой полноты и достоверности прогнозных данных о движении астероидно-кометных тел в околоземном космическом пространстве;
- обеспечение гарантированного воздействия на опасные небесные тела с целью исключения возможности возникновения катастрофических последствий в результате их падения на Землю;
- снижение ущерба от чрезвычайных ситуаций, возникших в результате невозможности предотвратить падение на Землю астероидно-кометных тел (снижение количества гибели людей, снижение количества пострадавшего населения,

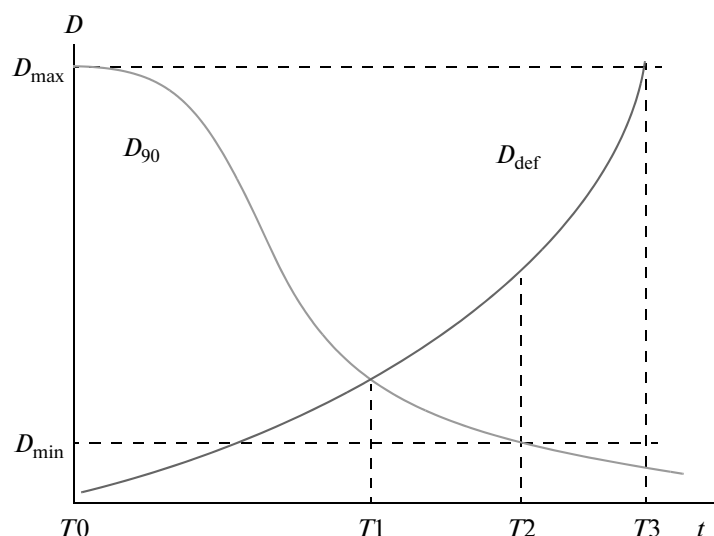


Рис. 1. Схема этапов создания системы противодействия в части проблемы астероидно-кометной опасности в системе параметров: D – размер опасного небесного тела и t – время. D_{\min} , D_{\max} – минимальный и максимальный пределы размеров опасных тел. Функция D_{90} означает, что на заданный момент времени обнаружено не менее 90% опасных тел размером более данного (D_{90}) размера. Функция D_{def} означает, что на данный момент времени тела размером менее данного (D_{def}) гарантированно отклоняются или уничтожаются.

увеличение предотвращенного экономического ущерба).

В этом разделе Концепции показатели оценены количественно (по годам). Наиболее важные показатели уже были схематично приведены в графическом виде на рис. 1 и в табл. 1.

Раздел 7. Предложения по объемам и источникам финансирования целевой программы в целом и отдельных ее направлений на вариантной основе.

Согласно Концепции, реализация Программы должна предусматривать использование средств

федерального бюджета и собственных средств организаций, участвующих в реализации программы. Объемы финансирования Программы за счет средств федерального бюджета оценивались по результатам реализации ряда проектов, которые по своему содержанию и объему сходны с мероприятиями, предполагаемыми к реализации в Программе, а также по результатам исследований, проведенных в течение последних лет по подготовке соответствующих перспективных проектов для включения в Программу и согласования с

Таблица 1. Этапы создания системы противодействия в части проблемы астероидно-кометной опасности

Этап, начало–окончание, пример	Содержание работ и ожидаемые результаты
Развертывание T_0 – T_1 (2014–2017)	– Разработка и создание основной инструментальной базы наземной системы обнаружения и мониторинга. – Начало программы массового обнаружения. – Создание Информационно-аналитического центра. – Разработка методики оценки рисков и критериев принятия решений. – Разработка (проектирование) и выбор наиболее перспективных космических средств обнаружения и противодействия.
Обнаружение T_1 – T_2 (2017–2022)	– Завершение создания системы обнаружения. – Достижение 90% уровня обнаружения опасных небесных тел размером более 50 м. – Создание космического комплекса, предназначенного для отработки методов противодействия.
Противодействие T_2 – T_3 (2022–2032)	– Осуществление миссии к опасному телу с целью отработки средств противодействия. – Завершение создания системы противодействия столкновениям с телами до 0.5 км.

Таблица 2. Характеристики ОНТ и космического мусора, как объектов наблюдения

Типичные значения параметров	Объекты	Опасные небесные тела	Опасный космический мусор
Размер		>50 м	>1 см НОО >3–5 см ГСО
Альbedo		~0.1 астероиды >0.3 (молодые) кометы	
Линейная скорость		~20 км/с астероиды до 71 км/с кометы	8 км/с НОО 3.2 км/с ГСО
Угловая скорость		~ 10 ⁻⁵ угл. град/с на 1 а. е.	<1 угл. град/с НОО 0.005 угл. град/с ГСО
Предельная звездная величина		$V \sim 23-24^m$	$V \sim 19-20^m$
Пространственное распределение		На больших расстояниях — близ плоскости эклиптики, на малых — почти изотропно	На НОО почти однородно по небесной сфере. На ГСС — узкая полоса

предполагаемыми государственными заказчиками, а также с учетом экспертных заключений.

Конкретные значения финансовые показатели могут получить только в процессе разработки самой Программы. Общие же комментарии состоят в следующем. Стоимость Программы определяется ее полнотой и сроками реализации. Например, очевидно, что подключение эффективного космического сегмента при создании системы обнаружения потребует значительного увеличения финансирования по сравнению с вариантом только наземных средств. Также ясно, что реализация системы, позволяющей применять космические средства для разрушения или отклонения опасных небесных тел, — проект весьма дорогостоящий.

В последующих разделах Концепции проводится предварительная оценка ожидаемой эффективности и результативности предлагаемых вариантов решения проблемы, даются предложения по участию федеральных органов исполнительной власти и организаций, ответственных за формирование и реализацию программы, и предложения по государственным заказчикам Программы и ее разработчикам. Даны также предложения по механизмам формирования мероприятий целевой программы и предложения по возможным вариантам форм и методов управления реализацией Программы.

ОБ ОПРЕДЕЛЕННЫХ В КОНЦЕПЦИИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧАХ ОБНАРУЖЕНИЯ ОПАСНЫХ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ И КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ

Как уже отмечалось, первоочередной задачей является решение проблемы обнаружения как опасных объектов космического мусора, так и опасных небесных тел (ОНТ) естественного про-

исхождения. В современной трактовке проблемы АКО задача **обнаружения** должна рассматриваться как задача оперативного (по современным требованиям — не позднее чем за месяц до возможного столкновения) и массового (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 как можно надежнее оценить вероятность и последствия столкновения и дать необходимую информацию для того чтобы заблаговременно принять соответствующие меры.

Для решения проблемы космического мусора нужно решить те же задачи, но пороговые размеры тел и характерные времена (упреждения) существенно меньше. В таблице 2 представлены важные для осуществления наблюдений характеристики ОНТ и космического мусора. В таблице использованы следующие обозначения: НОО — для низкоорбитальной области и ГСО — для области геостационарных орбит. Обоснования для предельной звездной величины ОНТ выполнены в (Шустов и др., 2013).

Очевидно, что ОНТ и объекты космического мусора совершенно различны по своей природе. С точки зрения наблюдателя, существенное отличие состоит в гораздо более высоких угловых скоростях для объектов астероидно-кометного происхождения.

В части проекта Концепции, касающейся инструментов и методов наблюдений и обработки данных, наиболее часто обсуждались:

1. Требования к инструментам для обнаружения ОНТ и космического мусора.

2. То же для решения задачи исследования (мониторинга).

3. Сбор, хранение и использование получаемых данных.

По каждому вопросу рассматривалось состояние дел и перспективы развития в мире и в России. Челябинское событие оживило обсуждение аспекта обнаружения для метеороидов промежуточных размеров.

Данная статья, разумеется, не является исчерпывающим обзором по теме. Это было бы возможно только в рамках солидной монографии. Здесь мы кратко опишем идеи, заложенные авторами проекта Концепции, в форме обсуждения перечисленных выше вопросов. Свое развитие эти идеи получили в процессе выполнения в 2012 г. по заказу Роскосмоса Системного проекта, целью которого являлась проработка предложений по развитию существующих и созданию перспективных средств измерений, наблюдения и контроля космического пространства в интересах информационного обеспечения единой системы предупреждения и парирования космических угроз.

Проблема обнаружения и необходимые инструменты

До середины 90-х годов прошлого века обнаружение опасных тел осуществлялось либо в рамках отдельных астрономических программ исследований астероидов и комет, либо случайно. Темп обнаружения объектов, сближающихся с Землей, резко возрос, начиная с 1998 г. Это связано с началом специальной программы “Космическая стража” (Spaceguard Survey), которая получила финансовую поддержку со стороны Конгресса США. При этом NASA поручалось приложить усилия к тому, чтобы в течение 10 лет открыть не менее 90% крупных, размером свыше 1 километра в диаметре, астероидов, сближающихся с Землей. Считается, что к концу 2009 г. эта задача была выполнена.

По данным финансируемого NASA Центра малых планет (ЦМП) при Международном астрономическом союзе (<http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html>), подавляющее большинство ОНТ обнаружено с помощью наблюдательных средств США и координируемой США сети. На конец декабря 2012 г. количество потенциально опасных объектов (ПОО), т.е. астероидов и комет размером более 140 м, орбиты которых могут в ближайшие два столетия сближаться с орбитой Земли до минимального расстояния, не превышающего 0.05 а. е., составило 1350 (около 3300, если учитывать тела меньшего размера), в том числе 70 комет.

Пожалуй, главным вопросом является вопрос о полноте обнаружения. Во Введении отмечалось, что необходимо обнаружить несколько сотен тысяч ПОО размером более 50 м, а их открыто не более 2% от этого числа. Почему же мы так ма-

ло информированы? Если не учитывать организационные аспекты (например, недостаточное внимание, уделявшееся проблеме в мире до 1998 г., когда Конгресс США впервые оказал государственную поддержку наблюдениям околоземных небесных тел), то главная проблема заключается в недостаточном количестве инструментов, пригодных для таких наблюдений.

Рассмотрим проблему подробнее. 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 телескопов, предназначенных для обнаружения ПОО размером от 50–100 м, вполне определены:

- поле зрения инструмента должно быть не менее нескольких (желательно десяти) квадратных градусов;
- проникающая способность не хуже 22-й звездной величины при экспозициях не более нескольких десятков секунд. Это означает, что апертура телескопа должна быть не менее 1–2 м; Для космических телескопов ИК-диапазона она может быть меньше, так как астероиды большую часть поглощаемой ими солнечной энергии переизлучают в ИК-диапазоне (на длине волны 5–15 мкм);
- количество ясных ночей с хорошим качеством изображения должно быть большим (для наземных телескопов);
- необходимо очень мощное компьютерное оборудование и математическое обеспечение для получения оперативной информации о новых объектах в течение ночи и окончательной обработки до начала следующей ночи.

На настоящий момент в США осуществляется несколько проектов создания специализированных инструментов, пригодных для обнаружения опасных объектов. Среди них проект Pan-STARRS, предназначенный для решения задач военно-воздушных сил США, ответственных за контроль космического пространства. Он представляет собой систему из четырех телескопов апертурой 1.8 м. Поле зрения каждого телескопа 3°, ПЗС-приемник имеет огромные размеры – 1.4 миллиарда пикселей. За 60 с достигается 24-я звездная величина. В режиме обзорного поиска эти телескопы будут способны покрыть всю доступную площадь неба трижды в течение месяца. Пока создан первый (пробный) телескоп – PS1, и он уже работает почти 3 года (Chambers, 2009). Стоимость создания телескопа PS1 превышает 120 млн. долларов США.

Еще более крупный телескоп 8-метрового класса LSST (The Large Synoptic Survey Telescope (Izveic Z. и др., 2008)) является проектом уникальной системы “гражданского назначения”, предназначенной для выполнения обзоров неба

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 звездной величины. Цифровая камера телескопа будет иметь 3×10^9 пикселей, а полный объем информации, получаемый в течение одной ночи, будет эквивалентен 7000 DVD-дисков. Предполагается, что система будет введена в строй после 2016 г. Стоимость создания телескопа превышает 700 млн. долларов США.

В феврале 2012 г в США были проведены первые наблюдения с телескопом SST. Это 3.5-м телескоп трехзеркальной системы Мерсенна–Шмидта, прежде всего военного назначения. ПЗС-детекторы расположены на кривой фокальной поверхности (http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/Space_Surveillance_Telescope_%28SST%29.aspx). Объявлено, что телескоп будет использоваться для задачи обнаружения опасных астероидов, а совместно с Линкольновской лабораторией Массачусетского технологического института телескоп будет также использоваться и для астрофизических целей. Стоимость создания телескопа превышает 110 млн. долларов США.

Помимо проектов по созданию крупных инструментов, в США развиваются программы создания “скромных”, но более оперативных систем. Астрономы Гавайского университета получили 5-миллионный грант от NASA на создание системы ATLAS (The Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System – система последнего предупреждения о столкновении астероида с Землей). Предлагается разместить в пяти–шести местах на Земле системы, имеющие на общей монтажке от двух до четырех 50-см широкоугольных телескопов, задача которых, в конечном счете, предупредить о возможных столкновениях с астероидами размером около 50 м не позднее чем за неделю до столкновения, а с астероидами 140 м – не позднее чем за три недели (<http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/ATLAS/>). Предполагается, что обзор всей доступной области неба будет осуществляться ежедневно.

В Европе есть специально выделенные телескопы (до 1 м в диаметре) для задачи наблюдения астероидов, сближающихся с Землей, а в системе Европейского космического агентства недавно начато строительство 1-м телескопа с очень большим полем зрения, организованном по принципу “глаз мухи” при площади поля зрения до 45 кв. градусов! (см. <http://neo.ssa.esa.int/web/guest/>).

В России современных инструментов для эффективного массового обнаружения обсуждаемых опасных тел пока нет, но работа в этом направлении ведется. Наиболее перспективным представляется проект широкоугольного телескопа АЗТ-33ВМ Института Солнечно-земной

физики (ИСЗФ) СО РАН (Камус и др., 2009). Его параметры лишь немного уступают параметрам телескопов Pan-STARRS. 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. Телескоп (см. рис. 2) строится на предприятии ЛОМО. Некоторая финансовая поддержка СО РАН и Роскосмоса есть, но она недостаточна. Речь идет об относительно небольшой необходимой для завершения строительства этого инструмента сумме (~0.5 млрд. руб.), но и эти средства в ведомствах найти очень трудно. Именно поэтому в Концепции предусмотрена подпрограмма строительства одного–двух таких инструментов за счет целевой Программы федерального уровня. В упоминавшемся выше Системном проекте эти предложения конкретизированы и хорошо обоснованы.

За рубежом и в России разрабатываются системы космического базирования для обнаружения опасных небесных тел. Такие системы имеют значительные преимущества перед наземными средствами. Основное преимущество космических систем – возможность проводить наблюдения в гораздо большей области неба, включая область внутри орбиты Земли и даже область за Солнцем при использовании удаленного от Земли КА, меньший фон неба, возможность круглосуточной работы. Недостатки – относительная дороговизна и меньшая надежность, поскольку обслуживание и ремонт космических аппаратов встречаются с большими практическими трудностями. Поэтому космические средства обнаружения ОНТ только начинают использоваться. Один из недавних примеров – канадский спутник NEOSat (The Near Earth Object Surveillance Satellite), запущенный на орбиту в феврале 2013 г. Этот микро-спутник будет использован для обнаружения астероидов, сближающихся с Землей, и орбиты которых, к тому же, лежат внутри орбиты Земли (Laurin и др., 2008). За каждые 24 часа работы будут получаться в среднем 288 изображений.

К сожалению, в конце 2012 г. пришло известие, что по финансовым соображениям работы над еще одним космическим аппаратом – немецким спутником Asteroid Finder с телескопом апертурой 25 см, предназначавшимся для решения аналогичных задач, остановлены. Тем не менее диапазон предложений по новым проектам широк: от небольших инструментов, аналогичных упомянутому выше, до крупных (2 м) космических телескопов (Committee to review..., 2010).

Особые перспективы для обнаружения ОНТ имеют космические телескопы с ИК приемниками излучения. Это вполне доказано на примере КА WISE (Wide-Field Infrared Survey Explorer) (Mainzer и др., 2012). Запущенный NASA в конце 2009 г., аппарат проработал на орбите более года (включая посткриогенную часть миссии – NEOWISE). WISE картографировал небо в четы-

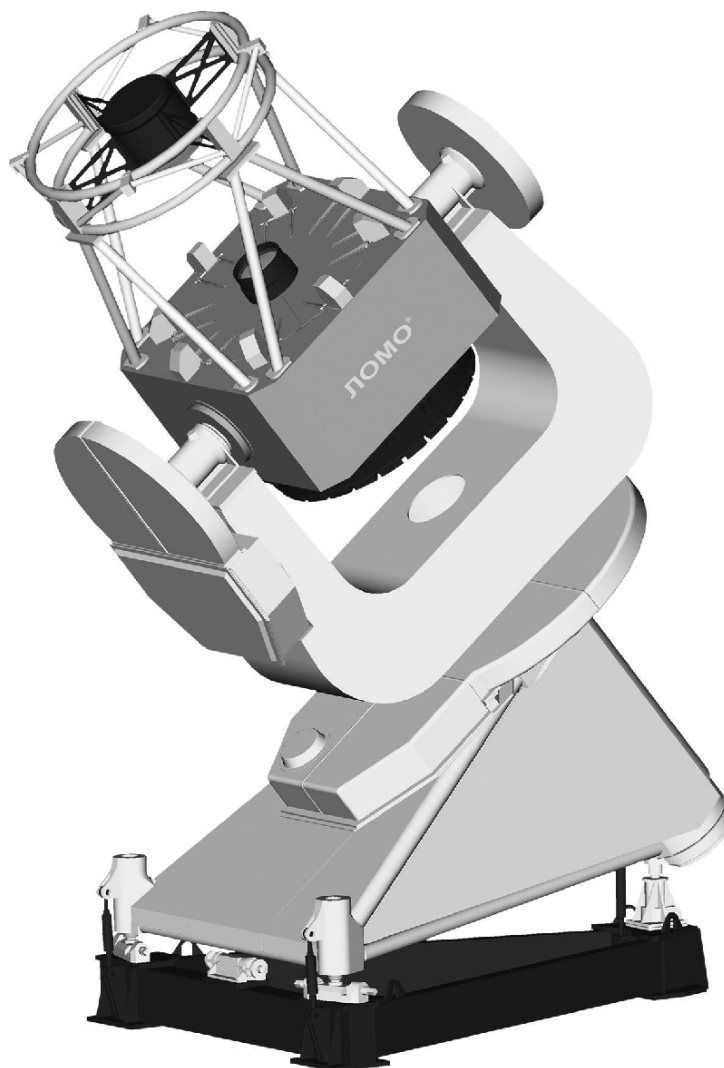


Рис. 2. Проект широкоугольного телескопа АЗТ-33ВМ.

рех длинах волн — 3.3, 4.7, 12 и 23 мкм. На длинах волн 12 и 23 мкм чувствительность детекторов WISE в 1000 раз превосходила показатели ИСЗ IRAS (Infrared Astronomical Satellite) (работавшего в космосе еще в 1983 г.). В ходе основной миссии, а также расширенной миссии NEOWISE уже без использования хладагента, при постепенном нагревании детекторов, было обнаружено (по сообщению от 17.05.2012 г.) свыше 33.5 тысяч новых малых тел Солнечной системы (свыше 15% от общего числа известных на тот момент астероидов), включая 108 астероидов, сближающихся с Землей, из них 21 потенциально опасный объект и 17 комет.

В России пока что разрабатываются только технические предложения по проектам телескопов космического базирования для обнаружения ОНТ. Наиболее проработан проект “Небосвод” — КА с мощными 1.5 м телескопами на борту (ОАО “Корпорация “Комета” совместно с ИНАСАН и ГАИШ МГУ).

Конечно же, системы космического и наземного базирования должны работать параллельно и дополнять друг друга.

В принципе, обсуждаемые выше телескопы могут использоваться и для наблюдений космического мусора. Однако для этой задачи рациональнее использовать более “скромные” инструменты. Дело в том, что для обнаружения и классификации небесного тела как опасного необходим телескоп с большей проникающей силой (см. табл. 2). Для наблюдения мусора пригодны инструменты меньшей апертуры (0.5 м), но приспособленные для проведения наблюдений относительно быстро движущихся объектов. Таких инструментов существует достаточно много, в том числе и в России (см. в следующем разделе).

Что касается соответствующих космических систем, то наиболее яркий пример — обзорная система космического базирования SBSS (США).



Рис. 3. 45-см обзорный телескоп обсерватории НСОИ АФН (установлен в Нью-Мексико, США) (слева). Двойной телескоп сети “Мастер” под Кисловодском (справа).

Это система из четырех спутников и наземной инфраструктуры создана для военных целей, но она используется также и для наблюдения космического мусора (<http://www.globalsecurity.org/space/systems/sbss.htm>). Первый спутник системы (запущен в 2010 г.) имеет 30-см телескоп на двухосной карданной монтировке с 2.4-мегапиксельным сенсором изображения. В России тоже разрабатываются технические предложения по проектам телескопов космического базирования для наблюдения (обнаружения) космического мусора.

Исследование (мониторинг) ОНТ и космического мусора

Телескопы обнаружения, как правило, нерационально использовать для задач тщательного исследования отдельного объекта. Уже обнаруженные опасные объекты можно успешно изучать существующими астрономическими телескопами. Здесь возможно самое широкое применение как относительно небольших телескопов (для позиционных и фотометрических наблюдений), так и самых крупных (например, для проведения спектроскопических наблюдений). Методики хорошо отработаны и главная проблема здесь имеет организационный характер.

Вклад российских обсерваторий в решение задач мониторинга и выявления характеристик опасных тел уже вполне заметен. В первую очередь, этот вклад 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. Регулярные наблюдения в настоящее время проводятся в Пулковской обсерватории, на телескопе РГТ-150 Российско-турецкой обсерватории близ г. Анталья, на инструментах обсерватории на пике Терскол

Международного (Российско-украинского) исследовательского центра, в САО РАН.

Продуктивной астрономической системой наблюдения космического мусора (более полно – информации об обстановке в околоземном космическом пространстве (ОКП)) является проект НСОИ АФН – Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений (Молотов и др., 2009). Проект по праву можно назвать российским с международным участием. В наблюдениях спутников, объектов космического мусора принимают участие 33 обсерватории 14 стран мира. На рис. 3 (слева) показан телескоп сети НСОИ АФН, установленный в Нью-Мексико (США). На основе данных НСОИ АФН решаются задачи прогноза опасных событий в ОКП в рамках системы “АСПОС ОКП” (Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве) Роскосмоса. На сегодня измерения НСОИ АФН составляют значительную часть общего объема отечественных данных по высокоорбитальным космическим объектам. Начаты наблюдения астероидов.

В проекте участвует несколько десятков привлекаемых (по договорам) телескопов России и ближнего и дальнего зарубежья. Созданы унифицированные комплексы программного обеспечения для управления телескопами, автоматической обработки ПЗС-кадров спутниковых и астероидных наблюдений, которые используются во всех обсерваториях сети НСОИ АФН. Телескопы проекта НСОИ АФН объединены в 5 подсистем – поисково-обзорную (апертурой 19.2–25 см), для сопровождения слабых фрагментов космического мусора (апертурой 40–80 см), для сопровождения ярких спутников по целеуказаниям (апертурой 25–36 см), для поиска астероидов и комет (апертурой 40, 45.5 и 60 см), для фотометрических наблюдений АСЗ (апертурой от 40 см до 2.6 м).

Планы развития в части наблюдений космического мусора предусматривают ввод в строй новых обсерваторий в Западных и Южных полушариях Земли, дооснащение поисково-обзорной подсистемы новыми 19.2-см телескопами с полем зрения 7° (они обеспечивают более точное определение орбит ГСО-объектов за счет увеличения средней длины проводок) и ввод в строй нескольких дополнительных телескопов апертурой 40–65 см для подсистемы сопровождения слабых фрагментов.

В плане развития астероидных исследований сетью НСОИ АФН планируются три обзорных инструмента (два 50-см телескопа и один 65-см), создание 4×50 см телескопа с суммарным полем зрения $8^\circ \times 8^\circ$ для сверхбыстрых обзоров неба, наращивание подсистемы фотометрических наблюдений (за счет продолжения программы модернизации телескопов обсерваторий стран СНГ).

Из регулярно работающих, но предназначенных в основном для проведения исследований по другой тематике, следует отметить сеть “Мастер” ГАИШ МГУ (Kornilov и др., 2012), созданную для исследования источников гамма-вспышек). Один из телескопов этой сети показан на рис. 3 справа.

Решение задач обнаружения и мониторинга в проблеме АКО требует создания регулярного и стандартизированного режима работы вовлеченных наблюдательных средств. Использовать для этих задач НСОИ АФН и сеть телескопов “МАСТЕР” пока затруднительно как по техническим, так и по организационным причинам.

Еще один важный способ исследования ОНТ и космического мусора — использование планетарных радаров (для ОНТ) и радаров с более широкой диаграммой направленности — для околоземных объектов. Для изучения (но не для обнаружения!) опасных небесных тел радарные наблюдения представляют большую ценность. Радарные наблюдения дают не только очень точную информацию об орбитальном движении астероида, но и данные о его физических свойствах (размере, форме, составе поверхностных слоев и т.д.). При реализации в радиолокационной системе метода РСДБ достижимые точности измерения угловых координат объектов составляют сотые доли угловой секунды, что более чем на порядок превосходит точности измерений угловых координат оптическими средствами. Радиолокация отдельных астероидов выполняется в основном в радиоастрономических обсерваториях Голдстоун и Аресибо (США) в количестве 10–25 объектов ежегодно (Ostro и др., 2007). Дальность действия радаров ограничена расстояниями, не превышающими 70 млн. км.

Пока в России создание собственного планетарного радара не планируется, но есть межагентское соглашение по использованию радара в Евпатории. В то же время на территории РФ и в ближнем зарубежье имеются несколько полнопо-

воротных параболических антенн большого диаметра: 70 м в Уссурийске (МО РФ) и 64 м в Медвежьих Озерах и в Калязине (ОКБ МЭИ). Имеется принципиальная возможность использования крупноапертурных антенн на территории РФ для создания специализированной радиолокационной системы наблюдения ОНТ и малоразмерного космического мусора на высоких орбитах. Для этого нужно провести оснащение имеющихся крупноапертурных антенн (70 м в Уссурийске и 64 м в Медвежьих Озерах и в Калязине) мощными (несколько десятков киловатт) импульсными передающими устройствами сантиметрового диапазона.

Сбор, хранение и обработка данных: необходимость создания информационно-аналитического центра

Что касается ОНТ, то обработка всей поступающей со всего мира (из 46 стран, по сообщению сотрудников Центра Малых Планет (ЦМП)) информации о наблюдаемых положениях объектов, присвоение предварительных обозначений объектам, идентификация объектов, определение предварительных орбит и их последующее уточнение в настоящее время полностью выполняются под контролем ЦМП. ЦМП публикует информацию об объектах, которые нуждаются в дополнительных наблюдениях для подтверждения их открытия, уточнения орбит и других характеристик. Прогнозирование движения потенциально опасных объектов, поиск их тесных сближений с Землей и получение оценки вероятности столкновений на протяжении ближайших десятилетий осуществляется в настоящее время регулярно в Лаборатории реактивного движения США (<http://neo.jpl.nasa.gov/risk/>) и в финансируемой ESA группой NEODYS при Пизанском университете (Италия) (<http://newton.dm.unipi.it/cgi-bin/neoody/neoibo?riskpage:0;main>) и, менее регулярно, в других странах.

В России изучение движения объектов, сближающихся с Землей, проводится в ряде исследовательских центров: ГАО РАН, ИПА РАН, Томском государственном университете, ИНАСАН, ГАИШ МГУ, ИПМ РАН, и др. В этом направлении фундаментальных исследований Россия находится на мировом уровне. Тем не менее, если говорить о решении задачи более прикладного характера — системной организации мероприятий по решению проблемы АКО на внутрироссийских масштабах, то очевидна необходимость создания единого центра сбора и обработки информации (Нароенков, Шеляков, 2011). Важно связать много различных инструментов и групп в единую национальную систему, координируемую из логически единого, хотя и возможно физически распределенного, информационно-аналитического центра. Создание такого центра поможет

нам более успешно и эффективно участвовать в международной кооперации.

Информационно-аналитический центр Системы противодействия космическим угрозам (ИАЦ СПКУ, это рабочее название, в Системном проекте Роскосмоса название немного иное) предназначен для решения следующих задач.

- Планирование работы, получение, обработка и анализ данных об опасных небесных телах и космическом мусоре.

- Ведение каталогов опасных небесных тел и элементов космического мусора.

- Надежное и своевременное определение вероятности конкретных столкновений.

- Оценка последствий конкретных столкновений.

- Выработка научно обоснованной оценки степени риска.

- Оповещение уполномоченных органов (организаций) о риске столкновения, превышающем допустимый уровень.

- Выработка рекомендаций по решениям о применении средств противодействия космическим угрозам.

- Взаимодействие с ведомствами и организациями (включая международные) по вопросам анализа и мер противодействия космическим угрозам в определенной сфере компетенций.

- Выработка рекомендаций по созданию более эффективных систем мониторинга техногенной засоренности ОКП.

- Ведение информационно-аналитической базы данных по опасным ситуациям и связанным с ними объектам техногенного происхождения.

- Взаимодействие (в том числе информационное) с соответствующими международными институтами по вопросам техногенной засоренности ОКП, доведение полученной от зарубежных партнеров официальной информации по объектам и событиям в ОКП до заинтересованных организаций РФ.

- Сбор, анализ, обобщение и представление высшим звеньям управления информации об эффективности предлагаемых к внедрению мероприятий по снижению техногенной засоренности ОКП и очистке ОКП от объектов космического мусора.

- Выработка рекомендаций по разработке национальных стандартов в области оценки и ограничения техногенной засоренности ОКП.

- Предоставление доступа к программно-информационным ресурсам ИАЦ СПКУ со стороны различных организаций и ведомств РФ.

Пока многие аспекты организации такого центра еще предстоит уточнить при разработке Программы. Ясно только, что работа такого центра в целом должна осуществляться в режиме службы.

Также ясно, что для обеспечения экспертных задач, решаемых центром, необходимо привлекать научно-технический потенциал РАН и ведущих ВУЗов.

Что касается проблемы космического мусора, то многие элементы такого центра уже созданы. Работает центр Системы контроля космического пространства (СККП), информационный центр АСПОС (ЦНИИМАШ Роскосмоса + ИПМ РАН). Важной, но трудноосуществимой задачей является создание эффективной системы обмена информацией между ИАЦ и пунктами СККП, принадлежащей МО. Эти пункты могут давать существенную информацию для решения задач по проблеме АКО, но они имеют предназначение для решения задач по линии Министерства обороны и пока необходимые организационные “интерфейсы” для обмена информацией по “гражданской” тематике АКО не разработаны.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РИСКА

Оценка риска является одной из важнейших задач в проблеме АКО. На этой оценке строится система принятия решения о мерах противодействия или уменьшения ущерба.

Можно выделить понятия *усредненного риска* и *риска конкретного столкновения*. Усредненная степень угрозы рассчитывается на большой интервал времени и характеризует фоновую угрозу. Согласно (Morrison и др., 2002), усредненное по большому периоду времени число жертв катастроф, вызванных столкновениями с космическими телами, может достигать тысячи человек в год. Это не так уж много. Стоит, например, вспомнить, что в России на дорогах в результате ДТП ежегодно погибает до 30 тысяч человек! Природные катастрофы (цунами землетрясения, оползни и т.д.) также уносят десятки тысяч жизней жителей Земли в год. Но такое усреднение нельзя считать приемлемой с практической точки зрения методикой определения степени конкретной опасности. Что касается расчета степени угрозы в случае конкретного события, то в качестве количественной оценки риск определяется в первом приближении произведением вероятности столкновения и тяжести возможных последствий (в качестве количественной оценки) (Акимов и др., 2004).

В части проблемы АКО для оценки риска необходимо решить следующие основные задачи.

- Расчет вероятности столкновения с угрожающим телом (задача астрономии).

- Оценка последствий (задача геофизики и физики взрыва, наук и технологий, используемых МЧС).

- Выработка критериев для принятия решений (в основном, это задача науки и технологий, используемых МЧС).

Расчет вероятности конкретного события (столкновения) — важнейшая задача для астрономов. Здесь немало проблем, связанных не только и не столько с различиями в математическом инструментарии, используемом для расчета орбит, сколько с неясностями с учетом тонких физических факторов. Есть важные астрономические аспекты в задаче противодействия.

ВЫВОДЫ

Мы не считаем, что разработанный проект Концепции программы федерального уровня, направленной на создание системы противодействия космическим угрозам, является совершенным или даже достаточно полным. Но сделан первый необходимый шаг. В тексте статьи было сделано много заключений и рекомендаций по конкретному участию астрономов в создании системы противодействия космическим угрозам. Остановимся лишь на самых общих выводах.

1. Проблемы космических угроз реальны, в мире ими занимаются всерьез и Россия не может остаться в стороне от общего развития.

2. Координация со стороны государства — необходимое условие в реалиях России. Важно обеспечить эффективное взаимодействие министерств и ведомств.

3. Для эффективной работы нужна программа федерального уровня. Проект концепции такой программы выполнен.

4. Системный проект, выполненный по заказу Роскосмоса, — важный конкретный шаг к созданию единой системы предупреждения и парирования космических угроз.

5. Перед астрономами стоят задачи решения большого круга научных вопросов, связанных с созданием такой системы.

Работа выполнена в рамках Договора от 06.12.2012 № (203-1205-2012)-1322/482-2012 между ЦНИИмаш и ИНАСАН и договора № 851-2131/12 от 06.12.2012 между ЦНИИмаш и Роскосмосом на НИР “Магистраль” (Облик), этап 4.2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Акимов В.А., Лесных В.В., Радеев Н.Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике. МЧС России, изд. “Деловой экспресс”, 2004.

Вениаминов С.С., Червонов А.М. “Космический мусор — угроза человечеству”. ИКИ РАН, 2012.

Шустов Б.М. О скоординированном подходе к проблеме астероидно-кометной опасности // Космич. исслед. 2010. Т. 48. № 5. С. 388—401.

Емельяненко В.В., Попова О.П., Чугай Н.Н. и др. Астрономические и физические аспекты Челябинского события 15 февраля 2013 г. // Астрон. вестн. 2013. Т. 47. № 4. С. 262—277.

Ибрагимов М.А., Барабанов С.И., Баканас Е.С. и др. Программа скоординированных наблюдений опас-

ных объектов: предпосылки, создание и первый опыт скоординированных наблюдений // Астрон. вестн. 2013 (в печати).

Камус С.Ф., Пименов Ю.Д., Тергоев В.И., Панушев П.Г. Светосильный широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ // Оптич. журн. 2009. Т. 76. Вып. 10. С. 48—51.

Молотов И.Е., Агапов В.М., Куприянов В.В. и др. Научная сеть оптических инструментов для астрометрических и фотометрических наблюдений // Изв. Главной астрономической обсерватории в Пулково. 2009. № 219. Вып. 1. С. 233—248.

Нароенков С.А., Шеляков М.А. Информационный комплекс обработки и хранения данных о малых телах Солнечной системы // Вестн. СибГАУ им. Акад. М.Ф. Решетнева. 2011. № 6(39). С. 56—60.

Шустов Б.М., Рыхлова Л.В. О концепции Комплексной программы “Создание российской системы противодействия космическим угрозам (2012—2020)” // Вестн. СибГАУ им. Акад. М.Ф. Решетнева. 2011. № 6(39). С. 4—8.

Шустов Б.М., Нароенков С.А., Емельяненко В.В., Шугаров А.С. Астрономические аспекты построения системы обнаружения и мониторинга опасных космических объектов // Астрон. вестн. 2013. Т. 47. № 4. С. 312—320.

Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / Ред. Шустов Б.М., Рыхлова Л.В. М.: Физматлит, 2010.

Катастрофические воздействия космических тел / Ред. Адушкин В.В., Немчинов И.В. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2005.

Угроза с неба: рок или случайность? / Ред. Боярчук А.А. М.: Космосинформ, 1999 г. 220 с.

Chambers K.C. Pan-STARRS Telescope #1 Status and Science Mission PANSTARRS // Bull. Amer. Astron. Soc. 2009. V. 41. P. 270.

Committee to review near-Earth object surveys and hazard mitigation strategies. Defending planet Earth: Near-Earth object surveys. Nat. Acad. Press, 2010. 152 p.

Izvezić Z., Axelrod T., Brandt W.N., et al. Large Synoptic Survey Telescope: From science drivers to reference design // Serbian Astron. J. 2008. V. 176. P. 1—13.

Kornilov V.G., Lipunov V.M., Gorbovskoy E.S., et al. Robotic optical telescopes global network MASTER II. Equipment, structure, algorithms // Experim Astron. 2012. V. 33. Iss. 1. P. 173—196.

Laurin D., Hildebrand A., Cardinal R., et al. NEOSat: a Canadian small space telescope for near Earth asteroid detection. Space Telescopes and Instrumentation 2008: Optical, Infrared, and Millimeter // Proc. SPIE. 2008. V. 7010. P. 701013-1—701013-12.

Mainzer A., Bauer J., Grav T., et al. Small body science with WISE/NEOWISE: An update Proc. Conf. Asteroids, Comets, Meteors, 2012, id. 6087 (2012).

Morrison D., Harris A.W., Sommer G., et al. Dealing with the Impact Hazard // Asteroids III / Eds. Bottke W.F., Jr., Cellino A., Paolicchi P., Binzel R.P. Tucson: Univ. Arizona Press, 2002. P. 739—754.

Ostro S.J., Giorgini J.D., Benner L.A.M. Radar reconnaissance of near-Earth asteroids, Near Earth Objects, our Celestial Neighbors: Opportunity and Risk / Eds. Valsecchi G.B., Vokrouhlicky D., Milani A. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2007. P. 143.