

## ЗАЩИТА ЗЕМЛИ ОТ АСТЕРОИДОВ: СЛУЧАЙ ГЛОБАЛЬНОГО ОТКЛИКА

Дэвид Моррисон

Статья получена 15 января 2004 г. и принята к публикации 1 августа 2004 г.

Автор работает в астробиологическом институте НАСА, Эймсский исследовательский центр НАСА, Моффет Филд, Калифорния, США.

Посылать корреспонденцию по адресу: David Morrison, NASA Ames Research Center, MS 200-7, Moffett Field, CA 94035-1000, USA.

Адрес электронной почты: dmorrison@arc.nasa.gov

### ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Земля погружена в поток околоземных астероидов, которые могут столкнуться с нашей планетой, и этот факт стал общепризнанным на протяжении последнего десятилетия. Роль кратерообразующих столкновений в истории планет была продемонстрирована в ходе исследования планет космическими аппаратами, и облик нашей Луны служит очевидным уроном истории столкновений в системе Земля-Луна. Способность даже относительно небольших столкновений нарушить окружающую среду и драматически повлиять на биосферу стала очевидной после отождествления КТ-уничтожения при столкновении, произошедшем 65 миллионов лет назад<sup>1</sup>. Данные из астрономии, геологии, и палеонтологии, сведенные вместе, помогли определить значительную современную опасность столкновения<sup>2</sup>.

Первый современный всеобъемлющий анализ опасности столкновения был проведен в ходе исследования НАСА, заказанного Конгрессом, и завершено в 1992 году под руководством Дэвида Моррисона. Этот *Обзорный доклад «Космическая вахта»*<sup>3</sup> предоставил количественную оценку опасности столкновения в зависимости от размера сталкивающегося тела (или его энергии) и предложил стратегию противостояния этой опасности.

Столкновения представляют наиболее экстремальный пример опасности с очень малой вероятностью и исключительно неблагоприятными последствиями. Чепмен и Моррисон<sup>4</sup> пришли к выводу, что наибольшая опасность связана с событиями, достаточно большими для того, чтобы вызвать глобальное экологическое бедствие, с потерей урожая и массовым голодом во всем мире – событиями, которые происходят в среднем раз или два за миллион

---

<sup>1</sup> L. Alvarez, W. Alvarez, F. Asaro, and H.V. Michel, "Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction," *Science* 208:1095-1108 (1980).

<sup>2</sup> Вопрос опасности столкновения был поднят Джином Шомейкером в июне 1980 года на совещании консультативного совета НАСА по "Новым направлениям," что помогло стимулировать первые исследования околоземных астероидов в 1980-х г.г.. Интерес Конгресса и последующее исследование НАСА «Космическая вахта» (см. ссылку 3) возобновило и расширило интерес к этой "новой" опасности. В 1993 году более 100 ученых встретились в Тьюсоне на совещании, в результате которого появился все еще наиболее полный обзор вопросов, связанных с столкновением, (Т. Gehrels, editor) *Hazards Due to Comets and Asteroids*. Tucson: University of Arizona Press (1994), 1300 pp.

<sup>3</sup> D. Morrison, editor. *The Spaceguard Survey Report of the NASA International Near-Earth-Object Detection Workshop*. NASA Publication, доступно в сети Интернет по адресу <http://impact.arc.nasa.gov> (1 April 2005). Отметим, что на этом веб-сайте помещено также много других относящихся документов и новостей по опасности столкновения за последнее десятилетие.

<sup>4</sup> C. R. Chapman and D. Morrison, "Impacts on the Earth by asteroids and comets: Assessing the hazard." *Nature* 367:33-39 (1994); и D. Morrison, C. R. Chapman, and P. Slovic, *The impact hazard*. In *Hazards Due to Comets and Asteroids* (Т. Gehrels, editor), Tucson: University of Arizona Press, (1994) pp. 59-92.

лет. Исследование НАСА «Космическая вахта»<sup>5</sup> рекомендовало сосредоточиться на этих событиях глобального масштаба, вызываемых ударами астероидов, размеры которых превышают 1 – 2 км. Предлагаемый обзор «Космическая вахта» должен обнаружить эти астероиды и определить их орбиты задолго до любого действительного события. Относительная устойчивость орбит даже для астероидов, орбиты которых пересекают орбиту Земли, делает такой обзор и построение каталога практической задачей (только в Голливуде астероиды меняют орбиту по своему капризу!).

Исследование НАСА 1995 года под руководством Джина Шомейкера<sup>6</sup> описало практический путь к проведению такого обзора «Космическая вахта» с использованием наземных телескопов умеренного размера, оборудованных современными электронными детекторами и компьютерными системами. Группа Шомейкера предложила задачу обнаружения и отслеживания 90 процентов околоземных астероидов с размерами более 1 км в течение 10 лет, и эта цель была принята НАСА в 1998 году. Поддержанное правительством исследование в Великобритании<sup>7</sup> подтвердило выводы НАСА и также рассмотрела возможность расширения обзора в сторону меньших астероидов, вплоть до диаметра 500 м, в качестве первого шага к рассмотрению столкновений ниже порога глобальной катастрофы.

В настоящее время в США в обзоре «Космическая вахта» используется много телескопов. Обзор уже обнаружил приблизительно 60 процентов околоземных астероидов с диаметром более 1 км, и он находится на пути достижения своей цели в 90 процентов в 2008 году<sup>8</sup>.

До сих пор не было обнаружено никаких астероидов, которые бы угрожали столкновением в течение ближайших нескольких столетий. Конечно, мы ничего не можем сказать о возможных столкновениях с еще необнаруженной частью популяции околоземных астероидов. Эти обзоры следует считать полезными, потому что мы обладаем технологией отклонения угрожающего астероида с предупреждением за десятки лет. Опасность столкновения уникальна в том, что можно полностью избежать ущерба. В большинстве природных опасностей «ослабление» означает планирование подготовки к катастрофе или к ликвидации ее последствий после того, как она произошла. Только в случае космических столкновений мы можем разработать планы предотвращения с задачей избегания самой катастрофы.

В 2003 году НАСА организовало третье исследование околоземных астероидов под руководством Гранта Стокса<sup>9</sup>, которое было направлено на выяснение роли столкновений с астероидами с размерами менее километра. Такие столкновения являются значительно более частыми, поскольку мелких астероидов намного больше, чем крупных, но ущерб от них будет локальным, или, в худшем случае, региональным. Если мы уходим от риска угрозы глобальной опасности, было бы целесообразным рассмотреть также варианты защиты от

---

<sup>5</sup> См. ссылку 3.

<sup>6</sup> Неопубликованный документ "Report of the Near Earth Objects Survey Working Group," ed. Gene Shoemaker (NASA, June 1995). Это совместное исследование НАСА и BBC США было затребовано Конгрессом США после хорошо освещавшегося в прессе столкновения кометы Шомейкера-Леви 9 с Юпитером.

<sup>7</sup> H. Atkinson, C. Tickell and D. Williams, "Report of the Task Force on Potentially Hazardous Near Earth Objects," British National Space Center, London (2000). Доступно в сети Интернет по адресу {<http://www.nearthearthobject.co.uk>} (1 April 2005).

<sup>8</sup> Можно оценить количество еще не открытых околоземных астероидов с размером более 1 километра из данных обзора по отношению вновь открытых объектов к повторному открытию тех, которые уже находились в базе данных. Поначалу почти все объекты были новыми, но, по мере того, как обзор расширялся, появлялось все больше и больше повторных открытий. Расширение обзора можно отслеживать на ежедневной основе на веб-сайте по адресу (<http://neo.jpl.nasa.gov>) (1 April 2005).

<sup>9</sup> G. Stokes, (editor). "Study to Determine the Feasibility of Extending the Search for Near Earth Objects to Smaller Limiting Diameters", Report of the NASA NEO Science Definition Team (2003). Доступен по адресу (<http://neo.jpl.nasa.gov/neo/report.html>) (1 April 2005). В отличие от прошлых обсуждений в этом отчете большинство выводов основано на количестве "Потенциально опасных астероидов" (PHAs), которые составляют 20 процентов (приблизительно) от околоземных астероидов с орбитами, которые в настоящее время ближе всего подходят к Земле.

меньших столкновений. В этом исследовании поднимается (но не решается) вопрос о том, как много общество может вложить в защиту от столкновений во всем диапазоне энергий и риска. Как и во многих других случаях, мы спрашиваем, как много защиты нам нужно, и пытаемся найти баланс между расходами и предотвращением угрозы.

Сталкиваться с Землей могут не только астероиды, но и кометы. Например, мы не знаем, какое столкновение, с астероидом, или с кометой, уничтожило динозавров. Однако, статистически столкновения с астероидами являются более частыми, чем столкновения с кометами. Это различие увеличивается по мере уменьшения размеров, и кометы с диаметром менее 1 км практически отсутствуют<sup>10</sup>. Поэтому в этой статье обсуждаются только астероиды, которые представляют 99 процентов, или более, риска в области размеров основного интереса.

В этой статье обсуждается вопрос опасности столкновений в текущей перспективе, в которой обзор «Космическая вахта» постоянно уменьшает угрозу столкновений глобального масштаба. Вопросы с астероидами более 1 км заключаются в том, как далеко следует продвигаться в полном завершении обзора, и какие планы должны быть приняты для разработки технологии отклонения астероида в отсутствие очевидной и существующей угрозы. Для меньших (субкилометровых) астероидов очевидный вопрос заключается в том, сколько средств следует вложить в уменьшение риска от этих меньших объектов. Существуют широкие международные последствия как в обращении с глобально угрожающими столкновениями (мы можем спросить, почему другие страны не присоединились к Соединенным Штатам в проведении обзора «Космическая вахта»), так и с меньшими столкновениями, которые могут угрожать одной стране, оставляя ее соседней практически незатронутыми. И, наконец, возникают вопросы восприятия общественностью (или неправильного восприятия), которые пересекаются со всеми другими вопросами.

## ОПАСНОСТЬ СТОЛКНОВЕНИЯ

Наибольший научный и общественный интерес к опасности столкновения возник от хорошо разрекламированного отождествления Альварецом и его сотрудниками<sup>11</sup> космического столкновения как причины массового уничтожения КТ 65 миллионов лет назад. В течение последующего десятилетия был отождествлен ударный кратер КТ, и накопилось значительное количество информации о возможных поражающих эффектах такого столкновения. С точки зрения текущей опасности столкновения, наиболее революционное предсказание Альвареца заключалось в том, что даже небольшие столкновения (в геологическом и астрономическом масштабе) могут нанести серьезный ущерб хрупкой земной экосистеме. Масса столкнувшегося объекта КТ была в миллиарды раз меньше массы Земли, но последующее уничтожение фундаментально изменило курс биологической эволюции. В течение двух десятилетий после этого открытия, была проведена значительная работа по пониманию механизмов массового уничтожения и расчету зависимости нагрузки на окружающую среду от энергии удара.

Энергия столкновения КТ по размерам кратера оценивается в 100 мегатонн, и соответ-

---

<sup>10</sup> В начале 1990-х годов считалось, что кометы представляют значительную долю риска (до десятков процентов), на основании исследований нескольких больших долгопериодических комет. Для диаметров в 10 км или более (в диапазоне массового уничтожения) это может быть так (P.R. Weissman, "The Cometary Impact flux at Earth," *Annals of the New York Academy of Sciences* 822:67-95 (1997)), но для меньших размеров, которые определяют текущий риск столкновения, это не так. Не было обнаружено ни одной кометы с диаметром менее 1 км, несмотря на их высокую яркость по отношению к астероидам такого же размера, а средние размеры комет, наблюдавшихся с космическим аппаратов (Галлея, Боррелли, и Уайлда 2) лежат в пределах от 4 до 8 км. Текущие аргументы в пользу малочисленности комет в километровом и субкилометровом диапазонах подытожены Д. Йоемансом в главе 2 "Оценки популяции" в отчете Г. Стокса, "Возможность расширенного поиска" (см. ссылку 9). Отметим, что старые ядра комет (из которых более не выделяется газ) на подходящих к Земле орбитах, если таковые существуют, учитываются вместе с околоземными астероидами.

<sup>11</sup> См. ссылку 1.

ствующая величина размера столкнувшегося тела (диаметр 10 – 15 км) была определена из наблюдаемой внеземной составляющей в пограничном слое. Непосредственные эффекты столкновения включали ударную волну и морские волны (поскольку столкновение произошло на мелководье). Однако, основными причинами глобальной нагрузки была кратковременная огненная буря от нагрева атмосферы возвращающимися обломками, вслед за которой последовало долговременное затемнение (от месяцев до лет) частицами, задержавшимися в стратосфере. Поскольку события массового уничтожения, подобные столкновению КТ, являются редкими (с интервалами между ними от десятков до сотен миллионов лет), мы заинтересованы в уменьшении масштабов для определения порогов ущерба на временных интервалах, более подходящих для человеческой истории.

Порогом для прохождения эффектов столкновения через атмосферу с достижением поверхности ударной волной, являются несколько мегатонн<sup>12</sup>. При меньшей энергии атмосфера защищает нас во всех случаях, за исключением редких металлических объектов. Для столкновений выше этого порога основными эффектами воздушных взрывов и ударов по поверхности земли являются локальная ударная волна и землетрясение, вместе с возникающими местными пожарами. Взрыв Тунгусского метеорита в 1908 году с диаметром около 60 метров представляет пример относительно небольшого столкновения (15 мегатонн), который вызвал значительное внимание научных кругов и общественности<sup>13</sup>. Некоторые эффекты большего масштаба можно оценить их наблюдений столкновения кометы Шомейкера-Леви 9 с Юпитером в 1994 году. Тун и его сотрудники<sup>14</sup> оценили возмущения окружающей среды и ожидаемую смертность от столкновений от предела атмосферного прохождения до масштаба массового уничтожения.

Для расчета ущерба необходимо объединить «функцию поражения» с частотой столкновений. Величина ущерба пропорциональна произведению ожидаемых потерь на частоту столкновений. Как было первоначально показано Чепменом и Моррисоном<sup>15</sup>, максимальный ущерб связан со столкновениями, которые оказывают глобальное воздействие и могут уничтожить существенную часть населения Земли. В моделях Туна и сотрудников<sup>16</sup> предполагается, что нагрузка атмосферы пылью является критическим механизмом, посредством которого столкновения представляют глобальную опасность. Диапазон энергий между  $10^5$  и  $10^6$  мегатоннами является переходным между региональным и глобальным воздействием, со средним значением порога глобальной катастрофы около  $10^6$  мегатонн, соответствующим диаметру околоземного астероида около 2 км<sup>17</sup>. связанный ежегодный риск смерти отдель-

---

<sup>12</sup> C. F. Chyba, "Explosions of Small Spacewatch Objects in the Earth's Atmosphere," *Nature* 363:701-702 (1993); C. F. Chyba, P. J. Thomas, и K. J. Zahnle, "The 1908 Tunguska Explosion: Atmospheric Disruption of a Stony Asteroid," *Nature* 361:40-44 (1993); J. G. Hills and M. P. Goda, "The Fragmentation of Small Asteroids in the Atmosphere," *Astronomical J.* 105:1114-1144 (1993).

<sup>13</sup> Несмотря на то, что в прошлом это событие приписывалось столкновению с кометой (или к более необычным явлениям, таким, как авария НЛО), сейчас очевидно, что Тунгусский метеорит, вероятно, представлял собой каменный астероид диаметром около 60 м, разрушившийся и фактически взорвавшийся на высоте около 8 км, уничтожив около 1000 гектаров сибирской тайги. См., например.: C. F. Chyba, P. J. Thomas, and K. J. Zahnle. "The 1908 Tunguska explosion: Atmospheric disruption of a stony asteroid," *Nature* 361:40-44 (1993); N. V. Vasilyev, "The Tunguska meteorite problem today," *Planetary and Space Science* 46:129-150 (1998); Z. Sekanina, "Evidence for asteroidal origin of the Tunguska object," *Planetary and Space Science* 46:191-204 (1998); P. Farinella, L. Foschini, C. Froeschle, R. Gonczi, T. J. Jopek, G. Longo, and P. Michel, "Probable asteroidal origin of the Tunguska cosmic body," *Astronomy and Astrophysics* 377:1081-1097 (2001).

<sup>14</sup> O. B. Toon, K. Zahnle, D. Morrison, R. P. Turco, and C. Covey, "Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets," *Reviews of Geophysics* 35:41-78 (1997).

<sup>15</sup> См. ссылку 4.

<sup>16</sup> См. ссылку 14.

<sup>17</sup> Анализ неопределенности этих оценок для глобального порога выходит за пределы этой статьи, но в нем доминируют в оценке количества пыли, поднимаемого в стратосферу, и ее последующего распределения и времени жизни, ошибками моделирования глобального влияния на климат, неадекватным пониманием отклик мирового сельского хозяйства на такие нагрузки окружающей среды, и, более всего, неопределенностью отклика мировой цивили-

ного лица составляет примерно 1 случай на миллион (или в 2 – 3 раза меньше), что близко по масштабу к риску от наиболее серьезных природных катастроф, таких, как землетрясения и крупные штормы. Для сравнения, один шанс на миллион соответствует риску смертельного случая в коммерческом авиарейсе.

Маловероятно, что порог глобальной катастрофы будет представлять резкую границу, поскольку последствия столкновения должны частично зависеть от местоположения удара. Однако, концептуально ясно, что столкновение, которое не вызовет серьезных глобальных эффектов, должно представлять гораздо меньшую опасность, независимо от того, насколько ужасными будут местные разрушения. В этом контексте «местные» могут означать ударные волны, достаточно сильные для разрушения страны среднего размера и уничтожения большей части ее населения. Ниже этого глобального предела со столкновениями можно будет обращаться теми способами, которые аналогичны нашему отклику на войны и другие серьезные катастрофы, когда незатронутые части планеты смогут помочь поврежденному региону и помочь в восстановлении. Численно такие опасности выражаются в ежегодном риске смерти отдельного лица порядка 1 случая на 100 миллионов. Поэтому, несмотря на то, что эти небольшие столкновения будут происходить чаще, чем крупные, их суммарная опасность по всем размерам сталкивающихся тел (от 100 м до 2 км) будет на один или два порядка величины меньше, чем от тех, которые приводят к глобальному, или «угрожающему цивилизации» воздействию.

Хотя уровень опасности достаточен для того, чтобы вызвать беспокойство общественности и оправдать возможные действия правительства, его природа помещает его в уникальную категорию. В отличие от более обычных опасностей, риск столкновения обуславливается исключительно редкими событиями – буквально беспрецедентными в мировой истории. Хотя для каждого отдельного лица существует риск в один шанс на миллион погибнуть в течение каждого года от столкновения, это не означает, что один из каждого миллиона будет за каждый год погибать от столкновения. Ожидаемая вероятность потерь от столкновения в течение отдельной жизни практически равна нулю. Наиболее важным соображением для общества поэтому является не среднее количество потерь за год, величина, которая не имеет значения для большинства людей, а вопрос о том, *когда и где произойдет следующее столкновение*. Именно ответ на этот вопрос является задачей проекта «Космическая вахта», а не уточнение нашего понимания частоты столкновений, или статистического риска. Мы должны обнаружить каждый астероид и определить его орбиту, чтобы определить, находится ли какой-нибудь из них на траектории столкновения. Если имеется такой угрожающий астероид, то мы хотим отождествить его, независимо от статистической частоты столкновений.

## ОБЗОР «КОСМИЧЕСКАЯ ВАХТА»

Несмотря на свою небольшую яркость, астероиды с диаметром до 1 км могут быть обнаружены по своему движению при помощи наземных телескопов умеренного размера (с апертурой около 1 метра), оборудованных современными электронными детекторами. Движущиеся объекты выделяются автоматически при помощи программного обеспечения поиска, и предварительная орбита может быть получена в течение одной ночи. Большая часть работ по последующему слежению, необходимому для определения более надежных орбит, проводится астрономами-любителями. Перечни новых околоземных астероидов появляются каждый день на публичных веб-сайтах, и эта информация используется для продолжающихся обзоров и для их последующей поддержки.

Наиболее успешной обзорной системой является проект исследования околоземных астероидов Линкольнской лаборатории (LINEAR), в котором используется два телескопа ВВС

---

лизации на такие катастрофы. (Общественное усиление экономического влияния террористических атак 11 сентября предоставляет предостерегающий пример. См. С. R. Chapman and A. W. Harris, "A skeptical look at September 11th," *Skeptical Inquirer* 26(5):29-34 (2002), доступное в сети Интернет по адресу (<http://www.csicop.org/si/2002-09/9-11.html>) (1 April 2005). Отметим, что неопределенность в порядок величины по энергии соответствует неопределенности порядка двойки по диаметру астероида.

США с апертурой 1 м в Нью-Мексико, работающих на средства НАСА<sup>18</sup>. В проекте LINEAR обнаруживают примерно 1 околоземный астероид за сутки, примерно треть из которых превышает по размерам 1 км. Текущие каталоги орбит<sup>19</sup> всех околоземных астероидов поддерживаются в центре малых планет в Кембридже, штат Массачусетс, офисе программы околоземных астероидов в лаборатории реактивного движения в Пасадине, и в системе NEODys в Пизанском университете. Дополнительная координация проводится фондом «Космическая вахта» в Италии<sup>20</sup>, который ежедневно определяет приоритеты для астероидов, требующих дополнительных наблюдений для уточнения орбиты.

Хотя поиск астероидов проводился и в предыдущем десятилетии, формально обзор НАСА «Космическая вахта» начался в 1998 году, тогда же, когда полностью заработал проект LINEAR. Конкретная задача состояла в том, чтобы обнаружить 90 процентов околоземных астероидов с размерами более 1 км в течение 10 лет, или к концу 2008 года<sup>21</sup>. К середине этого десятилетия уже было обнаружено примерно 50 процентов из ожидаемых 1100 ± 100 этих околоземных астероидов. Это не такой положительный результат, как это может показаться, поскольку частота новых открытий уменьшается по мере приближения обзора к завершению. Оценки срока достижения цели в 90 процентов меняются в пределах от 2008 года до после 2010 года. Расходы на этот обзор составляют около 3 миллионов долларов в год из фондов НАСА и личных пожертвований – небольшая сумма по сравнению с расходами на предотвращение последствий сравнимых по параметрам ущерба, но более понятных опасностей, таких, как землетрясения, крупные штормы, аварии самолетов и деятельность террористов.

Обзор «Космическая вахта» предназначен для выявления любой потенциальной опасности для Земли посредством обнаружения астероида в одном из его многих пролетов, которые предшествуют реальному столкновению. Этот подход должен обеспечить время предупреждения в по крайней мере несколько десятков лет. Нижний предел вероятного времени предупреждения определяется вероятностями: более вероятно обнаружить столкновение с большим временным горизонтом. Верхний предел определяется устойчивостью орбиты; для околоземных астероидов, проходящих близко от Земли, не всегда возможно с высокой точностью предсказать орбиту на протяжении более одного или двух столетий. Обзор оптимизирован для поиска астероидов с диаметром около 1 км, который включает нижний предел размеров для глобальной катастрофы. Окончательной задачей является полный каталог околоземных астероидов с размерами более 1 км.

Если мы возьмем астероиды с размерами более 2 км, что является формальным порогом размеров для глобальной катастрофы, то полнота обзора составит 70 процентов. Для диаметра в 5 км, который может быть близок к порогу уничтожающего события, мы сегодня завершили обзор астероидов (но при этих размерах долгопериодические кометы могут внести существенный вклад в опасность). Таким образом, астрономы уже убедили нас, что в течение следующего столетия мы не испытаем столкновения с астероидом уничтожающего размера. Если исключить маловероятный случай удара большой кометы, мы не пойдем по

---

<sup>18</sup> G. H. Stokes, J. B. Evans, H. E. M. Vighh, E. C. Shelly, and E. C. Pearce, "Lincoln Near-Earth Asteroid Program (LINEAR)," *Icarus* 148:21-28 (2000). См. также {[www.ll.mit.edu/LINEAR/](http://www.ll.mit.edu/LINEAR/)} (1 April 2005).

<sup>19</sup> Следующие центры поддерживают открытые каталоги известных объектов и информацию о последних открытиях: центр малых планет с адресом в сети Интернет <http://cfawww.harvard.edu/iau/mpc.html> (1 April 2005); офис программы околоземных астероидов с адресом <http://neo.jpl.nasa.gov> (1 April 2005); и система NEODys с адресом <http://newton.dm.unipi.it> (1 April 2005).

<sup>20</sup> Фонд «Космическая вахта», см. по адресу <http://spaceguard.rm.iasf.cnr.it/SGF/INDEX.html> (1 April 2005).

<sup>21</sup> НАСА формально приняло эту задачу "космической вахты" на слушаниях в палате представителей "Астероиды: опасности и возможности," перед подкомиссией по космосу и аэронавтике комитета по науке 21 мая 1998 года. Текст доступен в сети Интернет по адресу <http://impact.arc.nasa.gov> (1 April 2005). Отметим, что обзор не предназначен для поиска приближающихся объектов на их окончательном подходе к Земле (в любом случае такая информация не имела бы большого значения), но скорее для поиска любого угрожающего объекта за десятилетия заранее.

пути динозавров<sup>22</sup>.

Область исследований столкновений все еще слишком молода для того, чтобы определить, что общество (и представительные правительства) будут искать на пути защиты. Для тех, кто в основном опасается уничтожающего столкновения, которое может навсегда уничтожить человеческую жизнь, мы уже достигли достаточного уровня уверенности. Для тех, кто опасается глобальной угрожающей цивилизации катастрофы, мы находимся на половине пути к полному завершению. Но для тех, кто в основном обеспокоен меньшими, но более частыми столкновениями с астероидами с размерами менее километра, астрономы еще не достигли даже 1 процента полноты наших обзоров.

Сейчас общепринято думать, что проведение обзора «Космическая вахта» для астероидов, достаточно больших, чтобы вызвать глобальную катастрофу, очень просто, хотя так и не считали в то время, когда обзор только еще предлагался. Расходы на обзор намного меньше оценок ожидаемых потерь жизней и собственности только в США, что оправдывает усилия даже в том случае, когда обзор поддерживается только американским налогоплательщиком. Стоит ли расширять обзор в сторону меньших размеров, не так очевидно, и это будет обсуждаться в следующем разделе.

### СТОЛКНОВЕНИЯ С ОБЪЕКТАМИ РАЗМЕРОМ МЕНЕЕ КИЛОМЕТРА

Термин столкновения с объектами с размерами менее километра предполагает включение всех потенциально разрушительных столкновений с астероидами с размерами менее порога глобальной катастрофы (номинально 1 – 2 км) и более порога защиты земной атмосферой (номинально 50 – 100 м). Ниже этого размера атмосферное трение и напряжения сдвига в каменном объекте замедлят и разрушат его на большой высоте со слабыми повреждениями на земной поверхности от ударной волны. Материал, достигающий поверхности, в основном представляет собой камни размером с кулак, падающие с конечной скоростью, достаточной для того, чтобы пробить крышу дома или автомобиля, но не для того, чтобы вызвать взрыв при ударе. Эти осколки называют метеоритами, и каждый день на землю падают многие тонны этого материала. Риск, представляемый ими, минимален – порядка одного сообщенного смертельного случая во всем мире за столетие.

Железные астероиды с диаметром меньше 50 – 100 м могут проникнуть в атмосферу и столкнуться с поверхностью с существенной долей от своей космической скорости. Одним из примеров крупного железного метеорита, упавшего в последнем столетии, является Сихотэ-Алиньский метеорит 1948 года. Железные объекты достаточно редки, чтобы представлять большую опасность.

Члены группы научного определения (ГНО) НАСА<sup>23</sup> рассмотрели два класса столкновений с каменными астероидами размерами менее километра, которые представляют значительную опасность: столкновения на суше, приводящие к крупным наземным или воздушным взрывам, и столкновения в океане, которые образуют цунами, представляющие опасность для ближайшего побережья.

Воздействие столкновений на суше можно определить, экстраполируя имеющиеся сведения о больших ядерных взрывах. В анализе ГНО использовались оценки повреждений ударной волной в зависимости от размеров сталкивающегося объекта, проведенные Хиллсом и Годой<sup>24</sup>. При размерах от 50 до 150 м в основном происходят воздушные взрывы, и сталкивающийся объект разрушается при взрыве, не достигая земной поверхности. Объекты с размерами более 150 м образуют кратеры. При диаметре в 300 м размеры области серьезных разрушений сравнимы с размерами американского штата или небольшой европейской страны. Из-за исключительно неоднородного распределения плотности населения на Земле

---

<sup>22</sup> Обсуждение прогресса обзора «Космическая вахта» и других исследований астероидов можно найти в статье D. Morrison, A. W. Harris, G. Sommer, C. R. Chapman, and A. Carusi, "Dealing with the impact hazard" in *Asteroids III* (W. Bottke, A. Cellino, P. Paolicchi, and R. P. Binzel, editors), Tucson: University of Arizona Press (2003) pp. 739-754.

<sup>23</sup> G. Stokes (editor). "Feasibility of Extending the Search". Доступно в сети Интернет по адресу <http://neo.jpl.nasa.gov/neo/report.html> (1 April 2005).

<sup>24</sup> J. G. Hills and M. P. Goda, The fragmentation of small asteroids in the atmosphere. *Astronomical J.* 105:1114-1144 (1993).

большинство столкновений вблизи нижнего предела размеров будут приводить к небольшому количеству смертных случаев, если таковые вообще будут, но в редких случаях столкновения над густонаселенными районами могут убить десятки миллионов. Комбинируя свои модели взрывов с оценками частоты столкновений и моделями распределения населения, ГНО пришла к выводу, что наибольшую опасность представляют околоземные астероиды с размерами от 100 до 200 м, с общим ожидаемым эквивалентом десятков ежегодных смертных случаев от столкновений с объектами с размерами менее километра, – примерно на два порядка величины меньше аналогичного показателя для более крупных столкновений, представляющих глобальную опасность.

Столкновения с океаном не так хорошо поняты, поскольку у нас нет никаких примеров цунами от столкновения, которые могли бы послужить исходным пунктом. Чесли и Уорд проанализировали риск от цунами от столкновения в зависимости от размеров сталкивающегося объекта, частично базируясь на предыдущем исследовании Уорда и Асфауга<sup>25</sup>. Они моделировали образование и распространение волны, и, с большей неопределенностью, подъем и прохождение волн по мере достижения берега. Цунами от столкновения имеют промежуточную длину волны по сравнению с сейсмическими цунами (порядка километров) и обычными штормовыми волнами (порядка десятка метров), что приводит и к промежуточному подъему. Даже большие цунами от столкновения, с высотой волн в открытом океане в десятки метров, вряд ли затопят больше, чем несколько километров побережья. Предсказания о проникновении этих волн были скомбинированы с распределением населения на побережье. Чесли и Уорд обнаружили, что наибольший риск представляют небольшие, но более частые события, как и в случае столкновений на суше. Однако, поскольку воздушные взрывы над водой не приводят к образованию цунами, максимальная опасность переходит к размерам объектов в области от 200 до 500 м. Общая опасность от цунами превышает опасность от столкновений на суше примерно в 5 раз. Однако, поскольку можно обеспечить заблаговременное предупреждение о приближающейся волне для эвакуации прибрежного населения, реальное количество смертных случаев может быть намного меньше. Поэтому оценки риска от цунами скорее следует понимать как оценки ущерба собственности. Люди, живущие в области цунами, вымокнут и потеряют жилье, но останутся живыми.

Чесли и Уорд, и ГНО НАСА предоставили нам данные для построения ранжированного ансамбля угроз от столкновений, которые останутся после 2008 года, когда, как предполагается, обзор «Космическая вахта» достигнет своей цели в 90 процентов. Наибольшая опасность в терминах смертных случаев остается у еще неоткрытых околоземных астероидов с размером более 1 км, с эквивалентным ежегодным количеством смертных случаев порядка 100, которые также могут привести к дестабилизации глобальной цивилизации. Еще большим является риск для собственности от цунами от столкновений с околоземными астероидами меньшего размера (вплоть до диаметра в 200 м), но количество смертных случаев можно легко сократить посредством применения систем предупреждения о цунами. Третьим по рангу, как для ущерба собственности, так и для смертных случаев, являются столкновения небольших околоземных астероидов с сушей (вплоть до диаметра в 100 м).

Текущий обзор «Космическая вахта», если он будет продолжен, в конце концов позволит обнаружить все околоземные астероиды с размером более 1 км, но для этого потребуются несколько десятилетий дополнительной работы. Однако, ГНО пришла к выводу, что если мы желаем добиться серьезного прогресса в течение следующего одного или двух десятилетий в устранении риска от околоземных астероидов с размерами менее 1 км, нам потребуются значительно более амбициозный обзор с использованием более крупных телескопов. Такие обзоры под общим названием большого телескопа для синоптического обзора были поддержаны двумя экспертными группами национальной академии наук и национального исследовательского совета<sup>26</sup>. Один широкоугольный телескоп с апертурой около 8 м на пре-

---

<sup>25</sup> S. R. Chesley, and S. N. Ward "A quantitative assessment of the human and economic hazard from impact-generated tsunamis," представлено в *J. Natural Hazards* (2004); S. N. Ward and E. Asphaug, "Asteroid impact tsunami: A probabilistic hazard assessment," *Icarus* 145:64-78 (2000).

<sup>26</sup> Строительство большого телескопа для расширения обзора в область околоземных астероидов с размерами менее 1 км было рекомендовано национальным исследовательским советом в двух исследованиях: "Астрономия и астрофизика в будущем тысячелетии" (2001), и в аналогичной рекомендации для исследования планет, опубликованном издательством

восходной площадке наблюдений позволит провести обзор с полнотой в 90 процентов вплоть до размеров 200 м в течение десятилетия, одновременно выполняя другие высокоприоритетные научные задачи, которые требуют обзора всего неба<sup>27</sup>. В качестве альтернативы ГНО НАСА предложила выполнить эту задачу двумя или более 4-метровыми телескопами, или комбинацией наземных и космических обзорных телескопов. Не так ясно, смогут ли эти телескопы достичь границы обзора в 100 м, но они способны устранить по крайней мере 80% риска, который останется в 2008 году. Открытый вопрос, к которому я вернусь позже, относится к соотношению стоимости и эффективности большого телескопа для синоптического обзора и других усилий по уменьшению опасности от околоземных астероидов с размерами менее 1 км.

## ЗАЩИТА ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ

Обзоры для обнаружения астероидов являются первым существенным шагом на пути защиты нашей планеты от столкновений. Заблаговременное предупреждение об угрожающем столкновении за несколько десятилетий с указанием величины, времени, и места открывает различные варианты устранения угрозы. Как минимум, находящийся под угрозой район должен быть подготовлен или эвакуирован. Но более важно то, что такие длительные времена предупреждения позволяют нам использовать космические технологии для отклонения объекта и полного избегания столкновения.

При движении по своей орбите Земля проходит расстояние, равное своему радиусу, всего лишь за восемь минут. Таким образом, для того, чтобы избежать столкновения, время подхода астероида к точке столкновения должно быть изменено всего лишь на 8 минут. Для достижения соответствующих малых изменений скорости движения астероида по орбите<sup>28</sup> было предложено несколько способов, от установки ядерных зарядов на поверхности до толкания астероида установленным ракетным двигателем. Недавно группа под названием «Фонд B612» предложила специальное испытание, в котором ионный двигатель с ядерным реактором («космический толкач») будет использован для демонстрации технологии очень малого, но измеримого изменения орбиты 200-метрового астероида<sup>29</sup>.

Сегодня у нас нет технологии отклонения астероида, в особенности наиболее опасного класса, которые превышают по размеру 1 км. Однако, разумно ожидать, что если такой астероид будет открыт, и такое столкновение сможет уничтожить более одного миллиарда человек и дестабилизировать мировую цивилизацию, то космические державы смогут найти способ отклонить астероид и спасти планету. Можно надеяться, что это может быть достигнуто посредством широкого международного сотрудничества, но возможно также, что одна страна, такая, как США, может стать лидером, или даже сделать это в одиночку. Учитывая такую угрозу для нашей планеты, можно оправдать любой уровень расходов. Эти усилия будут представлять самый большой и наиболее важный технологический вызов в истории, и станут они успешными, или нет, мировая цивилизация навсегда изменится.

---

National Academy Press, Washington {<http://www.nas.edu>} (1 April 2005). Национальный исследовательский совет не указал, кто должен строить и эксплуатировать этот телескоп – НАСА, Национальный научный фонд, или какое-нибудь другое агентство.

<sup>27</sup> Предлагаемые технические требования и протоколы наблюдений для большого телескопа для синоптического обзора были разработаны научной рабочей группой, организованной национальными обсерваториями по оптической астрономии, доступно в сети Интернет {<http://www.noao.edu/lstt/>} (1 April 2005).

<sup>28</sup> H. J. Melosh, I. V. Nemchinov, and Y. I. Zetzer "Non-nuclear strategies for deflecting comets and asteroids," In *Hazards Due to Comets and Asteroids* (T. Gehrels, editor), Tucson: University of Arizona Press (1994) pp. 1111-1134; V. A. Simonenko, V. N. Nogin, D. V. Petrov, O. N. Shubin, and J. C. Solem, "Defending the Earth against impacts from large comets and asteroids," In *Hazards Due to Comets and Asteroids* (T. Gehrels, editor), Tucson: University of Arizona Press (1994), pp. 929-954.

<sup>29</sup> Фонд B612 описан в сети Интернет по адресу {<http://www.b612foundation.org>} (1 April 2005). Предложение об изменении орбиты астероида было сделано в статье R. L. Schweickart, E. T. Lu, P. Hut, C. R. Chapman, "The asteroid tugboat," *Scientific American*, November 2003, pp. 54-61.

Для околоземных астероидов с размерами менее 1 км варианты защиты менее обескураживающие и более разнообразные. Орбиты этих меньших астероидов могут быть определены с той же точностью, как орбиты больших астероидов, и время от открытия до столкновения, вероятно, будет столь же большим. Из-за их меньшей массы их будет проще отклонить. Будет гораздо проще разработать космическую технологию для отклонения астероида размером 200 м, чем для 2-километрового астероида, поскольку масса, и соответствующая тяга будет в тысячу раз меньше.

Для этих небольших околоземных астероидов имеются также другие варианты, в которых не будут пытаться отклонить их. Например, 200-метровый астероид, попадающий в океан, не создаст значительного цунами, и его можно будет проигнорировать, за возможным исключением эвакуации морских путей и нескольких небольших островов вблизи точки падения. Такую же логику можно применить и к столкновениям на суше, если область столкновения будет сравнительно малонаселенной. Например, падение Тунгусского метеорита произошло в 1908 году в Сибири в дикой тайге, и убило 15-мегатонной ударной волной только одного человека<sup>30</sup>. Если сегодня будет обнаружен астероид примерно такого же размера (диаметром около 60 м), направляющийся в такое же малонаселенное место, то лица, принимающие решения (кто бы они ни были), вероятно, решат эвакуировать нескольких жителей и принять удар. Оставшаяся в эпицентре область может затем стать привлекательной для туристов – еще более привлекательной, если после удара возникнет кратер диаметром в одну или две мили.

Если астероид ударит без предупреждения, как это наиболее вероятно сейчас<sup>31</sup>, уменьшение ущерба может производиться более обычными способами. В тех случаях, когда диаметр сталкивающегося объекта порядка 100 м, ситуация может напоминать последствия ядерного взрыва (но без радиоактивности), или большого землетрясения. В большинстве случаев целью будет сельский район с низкой плотностью населения, но возможно, что будет серьезно поврежден один, или более, городской цент, как это бывает и при землетрясениях. В этом случае отклик будет напоминать существующие планы гражданской обороны, предусматривающие неотложную медицинскую помощь и другие меры помощи при катастрофах. Однако, пока нет серьезных исследований того, как лучше будет реагировать в таких ситуациях, которые могут значительно превышать по своим последствиям любые исторические катастрофы<sup>32</sup>. Напротив, кажется вероятным, что большинство агентств чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны даже незнакомы с возможностью того, что где то Земле может произойти взрыв при столкновении с выделением энергии в сотни или тысячи мегатонн.

## **ВЫВОДЫ: ВОПРОСЫ ОБЩЕСТВЕННОЙ ПОЛИТИКИ**

Предыдущие разделы этой статьи затронули несколько политических вопросов, которые суммируются в этом завершающем разделе. В этом обсуждении я предполагаю, что текущий обзор «Космическая вахта» будет продолжен для выполнения своей цели обнаружения 90 процентов околоземных астероидов с размерами более 1 км, и что другие телескопы, возможно, будут использованы для расширения этих усилий, уменьшая таким образом риск от столкновений глобального масштаба с неоткрытыми астероидами. Следующие вопросы связаны с теми шагами, которые следует предпринять после завершения обзора «Космическая вахта».

1. Важно ли расширить обзоры астероидов до размеров менее 1 км, возможно, до предела

---

<sup>30</sup> См. ссылку 13.

<sup>31</sup> Не имеется систем, которые могли бы обнаружить приближающийся объект за несколько дней, или даже за несколько часов. Средства военной разведки смотрят вниз, а не вверх; они могут обнаружить столкновения крупных метеоров с атмосферой, но не обеспечивают предупреждения. Поэтому риск от неизвестной популяции околоземных астероидов можно трактовать как статистическую проблему, но после обнаружения астероида его траектория становится детерминированной, и может быть рассчитана с высокой точностью.

<sup>32</sup> V. Garshnek, D. Morrison and F. M. Burkle, "The mitigation, management, and survivability of asteroid/comet impact with the Earth," *Space Policy* 16:213-222 (2000).

проникновения через земную атмосферу? Такое предприятие согласуется с императивой правительств принятия усилий по обнаружению предотвращаемых катастроф и защите своего населения от них<sup>33</sup>. Расходы на эти обзоры могут быть экономически оправданными, или нет, в зависимости от предположений расчетов. Эти усилия могут быть менее эффективными, чем текущий обзор «Космическая вахта», поскольку нам может потребоваться потратить на защиту от этого риска на порядок больше средств при величине риска в десять раз меньшей, чем от крупных астероидов.

2. Следует ли нам начать разрабатывать технологии для отклонения астероидов? До сих пор на эти цели не было потрачено практически никаких фондов<sup>34</sup>. Многие могут выступить за то, что следует начать такие исследования еще до того, как будет отождествлена реальная угроза. Другие говорят, что поскольку такие технологии вряд ли потребуются в течение нескольких следующих десятилетий, то любые текущие работы будут ненужной тратой ресурсов. Наиболее привлекательным вариантом, вероятно, является ускорение наших исследований околоземных астероидов, включая полеты к ним космических аппаратов<sup>35</sup>. Знания, приобретенные в таких научных исследованиях, потребуются также для будущих работ по отклонению астероидов, если таковые потребуются.
3. Должны ли мы испытывать технологии отклонения астероидов? В течение последних десяти лет своей жизни Эдвард Теллер выступал за проведение таких экспериментов. Он указывал, что такие эксперименты не только необходимы для проверки схем отклонения, но, кроме того, опыт, полученный при планировании такого международного проекта, окажется неоценимым тогда, когда мы столкнемся с реальной опасностью, в особенности, для вариантов защиты с использованием ядерных взрывных устройств<sup>36</sup>. Последнее предложение «Фонда В612» для первого испытания «космического толкача» представляет такой экспериментальный подход.
4. Кто будет в ответе за эти усилия, от возможного расширения обзора «Космическая вахта» до потенциального испытания защитных систем? Является ли НАСА подходящим агентством?<sup>37</sup> Какой должна быть роль министерства обороны? В этом аспекте являются

---

<sup>33</sup> Обсуждение юридических вопросов ответственности правительств по защите от катастроф можно найти в статье M. B. Gerrard, "Asteroids and comets: U.S. and international law and the lowest-probability, highest consequence risk," *New York University Environmental Law Journal* 6:1 (1997); и E. R. Seamone, "When wishing on a star just won't do: The legal basis for international mitigation of asteroid impacts and similar transboundary disasters," *Iowa Law Review* 87:1091-1139 (2002).

<sup>34</sup> В начале 1990-х годов были предложены несколько идей (например, G. G. Canavan, J. Solem, and D. G. Rather (editors). *Proceedings of the Near-Earth-Object Interception Workshop* Los Alamos Publication LANL 12476-C (1993). В 1994 году было проведено последующее совещание в Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса, и в 1995 году в Снежинске, Россия, но для продвижения этих идей не было получено никаких фондов.

<sup>35</sup> M. J. S. Belton, "Toward a national program to remove the threat of hazardous NEOs," in *Mitigation of Hazardous Comets and Asteroids* (M. J. S. Belton, T. H. Morgan, N. Samarasinha, and D. K. Yeomans, eds.) University Press, Cambridge, UK (2004), pp. 391-410.

<sup>36</sup> Теллер активно выступал за защиту от астероидов в начале и середине 1990-х годов на многих форумах, включая все три упомянутых совещания по технологии защиты (см. ссылку 34), а также в адресе к национальному космическому обществу, на международном совещании в Эриче, Италия, и на совещании по опасности в Тьюсоне (см. ссылку 2). Единственная опубликованная по этим выступлениям статья – это статья Morrison and Teller, "The impact hazard: Issues for the future," in *Hazards Due to Comets and Asteroids* (T. Gehrels, editor), Tucson: University of Arizona Press, (1994), pp. 1135-1144. Некоторые из его других замечаний подытожены в материале от 9 октября 2003 года, в архиве новостей по адресу (<http://impact.arc.nasa.gov>) (1 April 2005).

<sup>37</sup> Хотя НАСА поддерживает текущий обзор «Космическая вахта», никаких обязательств после 2008 года принято не было. На организованном НАСА совещании по предотвращению угрозы в сентябре 2002 года заместитель директора НАСА по космической науке риторически спросил, "Кто просил НАСА спасти мир?" Более общее обсуждение вопросов коммуникации и ответственности можно найти в статье C. R. Chapman, "The asteroid/comet impact hazard: Homo sapiens as dinosaur?" in *Prediction: Science, decision making, and the future of na-*

ли эти вопросы ответственностью правительства США? До сих пор не имеется никакой официальной позиции или плана, который распределяет ответственность внутри правительства. Этот вопрос иногда возникает среди астрономов, которые спрашивают: «Кому я должен звонить, когда я обнаружу астероид на траектории столкновения с Землей?»<sup>38</sup>»

5. Должны ли агентства по гражданской обороне и чрезвычайным ситуациям планировать действия по ликвидации последствий столкновения, которое произойдет без предупреждения? Сегодня не ожидается никакого предупреждения для столкновений с объектами с размерами менее 1 км. Кто должен принять ответственность за планирование ликвидации последствий, если должно произойти такое столкновение?<sup>39</sup>
6. Насколько важно международное участие? Хотя опасность столкновения обсуждалась на международном уровне в ООН, в Совете Европы, в Организации экономического сотрудничества и развития, в Международном астрономическом союзе, и в Международном совете научных союзов, не было предпринято никаких конкретных действий. Наиболее подробное исследование проблемы за пределами США было проведено в Великобритании. Однако, из 14 рекомендаций в отчете рабочей группы UKNEO<sup>40</sup>, была принята всего одна – организация Британского национального центра о публичном образовании в вопросе опасности столкновения. Ситуация здесь не отличается от той, которая наблюдается в оборонной политике, и возможно, что подходящей ролью для единственной сверхдержавы взять на себя одностороннюю ответственность за защиту нашей планеты от космических столкновений.
7. Какие столкновения (если таковые будут) не требуют предотвращения, и кто будет принимать решение? Предположим, что астрономы обнаружат околоземный астероид размером в 100 м, который упадет в океан – даже если научное сообщество придет к выводу, что нет опасности от цунами, удовлетворит ли это общественность? Или предположим, что предсказано столкновение с сушей; если район падения пустынный, то может оказаться легко убедить допустить столкновение, но предположим, что в районе падения могут оказаться города, или другие сооружения инфраструктуры, такие, как плотины. Кто будет принимать решения о том, следует ли предпринимать усилия стоимостью в десятки миллиардов долларов для отклонения астероида? Кто будет платить за них? Будет ли решение зависеть от того, является ли страна, с которой столкнется объект, союзником США?<sup>41</sup>
8. Если объект с размерами менее километра будет идентифицирован и если будет принято решение об изменении орбиты, то имеется много сценариев, которые будут сложными и неоднозначными. Предположим, что начальная цель находится в стране А. и для изменения орбиты мы должны приложить непрерывную тягу, которая будет постепенно уводить точку столкновения от планеты. Но в этом процессе точка столкновения будет пересекать страны Б, В, и Г, которые первоначально не подвергались риску. Кто убедит эти страны провести маневр отклонения? И что будет, если маневр окажется только частично успешным, и астероид ударит по стране В вместо того, чтобы пролететь мимо Земли? Кто будет нести ответственность?
9. В любом из этих примеров, будет ли население Соединенных Штатов, или любой другой

---

ture (eds. D. Sarewitz, R. A. Pielke, Jr. and R. Byerly) Washington D.C.: Island Press, (2000) pp. 107-134.

<sup>38</sup> Конечно, это не серьезный вопрос. Любое такое открытие, почти определенно будет сделано международной группой астрономов и небесных механиков, и будет рассмотрено Международным астрономическим Союзом. Без сомнения, оно будет известно по сети Интернет до любого формального объявления.

<sup>39</sup> Garshnek, et al., "Mitigation, management, and survivability," *Space Policy* 16:213—222 (2000).

<sup>40</sup> Atkinson et al. "Report of the Task Force," British National Space Center, London (2000); доступно по адресу (<http://www.neartheearthobject.co.uk>) (1 April 2005).

<sup>41</sup> Некоторые из проблем достижения контролируемого изменения орбиты, которое может быть потенциально использовано для нацеливания астероида на вражескую страну, обсуждались в статье W. Harris, G. H. Canavan, C. Sagan, and S. J. Ostro, "The deflection dilemma: Use versus misuse of technologies for avoiding interplanetary collision hazards," in *Hazards Due to Comets and Asteroids* (T. Gehrels, editor), Tucson: University of Arizona Press, (1994), pp. 1145-1156; C. Sagan, and S. Ostro, "Dangers of asteroid deflection," *Nature* 369:501 (1994).

страны верить научным суждениям или решениям официальных лиц? Если астероид будет поначалу открыт с хорошо разрекламированным ненулевым шансом столкновения, и последующие наблюдения окончательно убедят научное сообщество, что он промахнется на небольшое расстояние, поверит ли им общественность? Или предположим, что астероид находится на курсе столкновения, но его диаметр будет равен всего 40 м, и поэтому он безопасно разрушится на большой высоте. Поверят ли люди в эпицентре этому заключению? Какой уровень доказательств или принятия ответственности потребуется для этого? Многие сочтут особенно подозрительной фразу «Я из правительства (США) и я здесь для того, чтобы защитить вас от астероидов».

10. Будет ли общественность поддерживать продолжающиеся и, возможно, увеличивающиеся расходы на защиту Земли от астероидов? Трудно сохранять интерес и поддержку в отсутствие известных угроз, а в известной истории никогда не отмечалось удара астероида по населенной области<sup>42</sup>. В последние годы появлялись истории, инспирированные прессой, в основном основанные на весьма предварительных орбитах, с «угрозой», проходящей через день или два. Такие истории могут поддерживать интерес общественности, но они могут оказывать и обратное воздействие, если общественность, или средства информации придут к выводу, что либо астрономы не знают, что они делают, либо они кричат «Волк!» для привлечения общественного внимания. Сообщения о природе опасности без исторических примеров, но с возможными потерями в миллиарды человек, является вызовом. Если мы сможем создать и поддерживать международные программы для защиты планеты, то общественное понимание и поддержка являются необходимыми<sup>43</sup>.

Мы не можем сейчас ответить на эти вопросы. Все выиграют от более широкого диалога и участия отдельных лиц и групп, которые могут никогда не столкнуться с этой уникальной природной опасностью.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Я благодарен многим коллегам, которые могли мне улучшить мое понимание опасности столкновения с околоземными астероидами, в особенности, Ричарду Бинзелу (MIT), Кларку Чепмену (SWRI, Боулдер), Алану Харрису (Институт космической науки, Боулдер), Дону Йеомансу (JPL), и Кевину Занле (NASA AEC). Мы все обязаны Джину Шомейкеру, кто заложил основы нашего современного понимания астероидов и их столкновений, и Терри Доусону за начальную поддержку в комитете по науке палаты представителей. Я благодарен Эрику Асфаугу (UCSC), Стивену Чесли (JPL), и Стивену Уорду (UCSC) за разъяснение проблем цунами от столкновений, и астронавтам Эду Лу и Расти Швейкарту за информацию об обществе B612. Мои взаимодействия с адвокатами защиты от астероидов Эдвардом Теллером и Питом Уорденом иногда были трудными, но всегда направляющими. Эта работа частично поддержана Институтом астробиологии НАСА.

---

<sup>42</sup> R. L. Park, L. B. Garver, and T. Dawson, "The lesson of Grand Forks: Can defense against asteroids be sustained?" In *Hazards Due to Comets and Asteroids* (T. Gehrels, editor), Tucson: University of Arizona Press (1994) pp. 1225-1232.

<sup>43</sup> Некоторые вопросы коммуникации с прессой и публикой затронуты в статьях R. P. Binzel, "The Torino Impact Hazard Scale," *Planetary and Space Science* 48:297-303 (2000); D. Morrison, "Are Astronomers Crying Wolf?" *Mercury*, November—December 2003, p 15 (2003); D. Morrison, C. R. Chapman, D. Steel, and R. Binzel, "Impacts and the public: Communicating the nature of the impact hazard," in *Mitigation of Hazardous Comets and Asteroids* (M. J. S. Belton, T. H. Morgan, N. Samarasinha, and D. K. Yeomans, eds.) Cambridge, UK: University Press (2004) pp. 353-390.