

НАУЧНАЯ КОМАНДА ДЛЯ РЕАГИРОВАНИЯ НА СТОЛКНОВЕНИЯ С НЕБЕСНЫМИ ТЕЛАМИ

Чарльз Коккел

Большинство столкновений с астероидами и кометами вызывает локальные разрушения, а не гибель глобального масштаба. Каким образом должна международная общественность реагировать на такие события, еще не определено. Во время заседания 10-й Рабочей группы по столкновениям с небесными телами Европейского научного фонда в 2003 г. был предложен метод научного реагирования на такие события. Научная команда для реагирования на столкновения (НКРС) должна добиться быстрой встречи научной группы и группы обеспечения для оценки и изучения образованного ударного кратера (или зоны поражения под точкой воздушного взрыва). Ее задачами станут следующие вопросы: 1) обеспечение научных рекомендаций и информации для пострадавших и служб скорой помощи, если такое событие произойдет вблизи населенного района; 2) обеспечение научной информации для средств массовой информации и каналов оповещения населения; 3) изучение непосредственных геологических и биологических эффектов после столкновения внутри кратера и вокруг него; 4) документирование геологических и биологических изменений в месте столкновения со временем, а также скорость восстановления. Команда должна существовать в режиме ожидания. Для обеспечения понятной реакции на такое событие команда может быть приведена в рабочий режим международными организациями типа ООН и будет поддерживать связи с другими международными организациями, реагирующими на чрезвычайные ситуации.

Статья получена 8 июня 2004 г., принята 6 декабря 2004 г.

Автор работает в Открытом университете, Милтон Кейнс, Великобритания.

Посылать корреспонденцию по адресу: Charles Cockell, Open University, Milton Keynes, MK6 3AD, UK

Адрес электронной почты: C.S.Cockell@open.ac.uk

ВВЕДЕНИЕ

В 1908 г. астероид влетел в атмосферу Земли и взорвался над Сибирью в районе реки Тунгуски, сравняв с поверхностью две тысячи квадратных километров тайги. Только через 19 лет в район падения добралась научная экспедиция и охарактеризовала следы события, как результат взрыва внеземного объекта над отдаленным сибирским районом.¹ Часто говорят, что при задержке взрыва на шесть часов, он разрушил бы Санкт-Петербург. Независимо от реальных или потенциальных эффектов взрыва, он продемонстрировал, что у международной общественности нет согласованного процесса реагирования на такое событие. Сегодня, хотя угроза от столкновений с астероидами и кометами понята лучше и появились предложения об отклонении орбит таких тел¹ или определении их точных орбит^{5,6}, еще не существует точно определенный процесс международного научного реагирования на локализованные разрушения, вызванные столкновением астероида или кометы с Землей.

Эффекты столкновения обсуждались в научной литературе. Если выделившаяся при столкновении энергия не превышает, примерно, 10 мегатонн (в тротиловом эквиваленте), кратер может не образоваться, а воздушный взрыв может разрушить флору и фауну, а также локальные сооружения. Примером такого события служит тунгусский взрыв в Сибирии в 1908 г. Для энергий в диапазоне от десяти до миллиона мегатонн образуется кратер. Эффекты от столкновения будут носить «локальный» характер, а сам-эффект будет проявляться по все более крупному району с увеличением энергии, пока, наконец, примерно при десятке миллионов мегатонн эффект, как считается, не станет глобальным и может вызвать исчезновение жизни с лица Земли. В прошлом столкновения такого масштаба, как полагают, оказались причиной крупномасштабных биологических перемен, например, подразумевается, что они привели к исчезновению динозавров 65 миллионов лет тому назад.⁸

События масштаба десятка миллионов мегатонн, как считают, происходят с частотой, примерно, одного случая через каждые 100 миллионов лет (рис. 1), но события с образованием кратера диаметром около 1 км, способные опустошить площадь размером порядка 8000 квадратных километров, могут происходить в среднем, примерно, через каждые 1000 лет. Такой масштаб для оценки риска называют туринской шкалой.⁹ Конечно, события с глобальными последствиями вряд ли будут пережиты значительной частью общества. В данной статье рассматривается международная реакция на гораздо более ожидаемое столкновение с астероидом или кометой при энергии порядка сотни тысяч мегатонн (или меньше), вызываю-

щее локальные разрушения.

Гаршнек и др. рассмотрели требования к реагированию на бедствия в результате столкновения и отождествили некоторые из ключевых зон неопределенности того, как цивилизация прореагирует на подобное событие (в основном, речь идет о предоставлении питания и смягчении критической обстановки).¹⁰

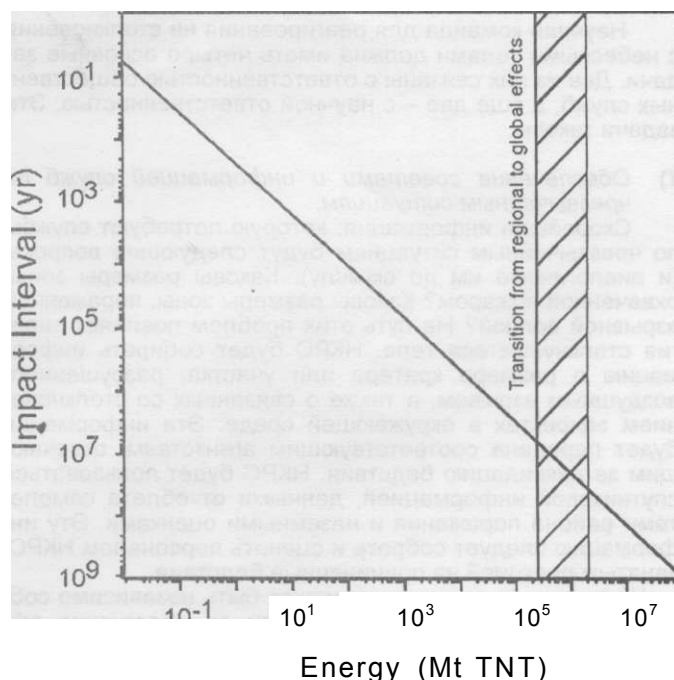


Рис.1: Интервал между столкновениями с заданной энергией. Заштрихованная область соответствует переходу от локальных эффектов к глобальным. График показывает, что большинство столкновений приводят к локальным разрушениям. По оси абсцисс отложена энергия соударения (Mt), а по оси ординат - интервал между соударениями (г)

С точки зрения бедствий, соударения с небесными телами представляют из себя необычное слияние естественных несчастий. Пожары, вызванные раскаленными обломками выброшенной при ударе породы, требуют реагирования со стороны пожарных служб. Образование трещин и ударные волны создают проблемы, которые чаще ассоциируются с землетрясениями. Взрывная вол-

на от ударного тела создает проблемы, обычно связываемые с разрушениями от шторма (особенно в местах, заросших лесом). В случае попадания тела в океан, прибрежные районы могут быть залиты цунами - это создает проблемы, сходные с тем, что связано с прилежными ураганами или подводными землетрясениями. Некоторые из этих последствий, особенно лесные пожары, будут зависеть от природных условий, сопутствующих соударению.

Все эти проблемы и приписываемые реакции на них могут выиграть при правильном научном представлении об эффектах столкновения. Поскольку каждый из этих эффектов связан с полной энергией, выделяемой при столкновении, занимающиеся столкновениями ученые могут обеспечить комплексное понимание потенциальных эффектов и связанных с ними опасностей.

В дополнение к обеспечению научной информацией для эффективной реакции на бедствия, изучение образованного при столкновении кратера имеет громадный интерес, поскольку раньше мы никогда не имели возможности наблюдать перемены, произошедшие в свежем кратере, возникшем при столкновении, и вокруг него, хотя мы знаем, что подобные события были очень важными для формирования представления о биологической эволюции на Земле.

Одним из путей для сбора имеющей отношение к делу информации, чтобы содействовать научному реагированию и реакции на катастрофу, стало бы формирование команды, специально создаваемой для этих целей. Для удобства я называю ее в этой статье «Научной командой для реагирования на столкновения» (НКРС). Цель данной статьи заключается в обсуждении такой концепции.

ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ НКРС

Научная команда для реагирования на столкновения с небесными телами должна иметь четыре основные задачи. Две из них связаны с ответственностью общественных служб, а еще две - с научной ответственностью. Эти задачи таковы:

1) *Обеспечение советами и информацией служб по чрезвычайным ситуациям.*

Скорейшая информация, которую потребуют службы по чрезвычайным ситуациям будут следующие вопросы (и аналогичные им по смыслу): Каковы размеры зоны, охваченной пожаром? Каковы размеры зоны, пораженной взрывной волной? На суть этих проблем повлияет энергия столкнувшегося тела. НКРС будет собирать информацию о размере кратера или участка, разрушенного воздушным взрывом, а также о связанных со столкновением эффектах в окружающей среде. Эта информация будет передана соответствующим агентствам, отвечающим за ликвидацию бедствия. НКРС будет пользоваться спутниковой информацией, данными от облета самолетами района поражения и наземными оценками. Эту информацию следует собрать и оценить персоналом НКРС, занятым реакцией на причиненные бедствия.

Часть такой информации может быть независимо собрана организациями, отвечающими за облегчение эффектов соударения, с использованием в реальном времени данных от спутниковых фотографий, так что таким организациям могут не потребоваться ученые по столкновениям или НКРС. Однако, как будет разъяснено в той части статьи, где обсуждается состав НКРС, специалисты по столкновениям могут предоставить большое количество информации сотрудникам, занятым смягчением причиненных бедствий. Более того, они смогут предоставить более точную интерпретацию спутниковых и самолетных фотографий. Их априорное понимание эффектов столкновения в отношении окружающей среды, скорее всего, сделают оценку информации эффективной.

2) *Предоставление научного совета общественности.*

После столкновения (особенно после мелкомасштабных событий, где зона разрушений составляет порядка 100-1000 квадратных километров) общественность

окажется (а) пораженной, (б) напуганной, или (в) озабоченной проблемами безопасности. Некоторые граждане, возможно, захотят посетить место столкновения или взрыва, другие будут приведены в замешательство и могут стремиться покинуть эту территорию. Задачей НКРС окажется сбор команды за очень короткое время (менее суток) и безотлагательная научная оценка эффектов столкновения, а также опасности для населения. Эти данные могут быть использованы для формирования реакции населения и для продолжения информирования общественности о событиях с использованием средств массовой информации в районах, не затронутых столкновением. Эта информация будет также направлена в сеть гражданской обороны для проработки вопросов эвакуации населения.

Хотя значительная часть этих данных может быть сообщена населению учеными, которые не являются специалистами по физике удара, но оказались свидетелями события, общественность может задавать вопросы такого типа: «Вызовет ли столкновение последующие землетрясения? Приведет ли столкновение к распространению отравляющих газов? Радиоактивны ли астероиды?» Общественность будет ожидать от специалистов обнадеживающих ответов. НКРС может создать группу быстро доступных специалистов, которая обеспечит советы и информацию не только о конкретном событии, но и о его эффектах в свете общей картины столкновений небесных тел с Землей.

3) *Изучать непосредственные геологические и биологические перемены.*

НКРС будет собирать информацию, представляющую научный интерес, относительно эффектов столкновения. Сейчас нет ни одного молодого кратера для изучения на нем непосредственных геологических и биологических изменений после столкновения. Образование гидротермальных систем под действием теплового импульса, создаваемого сталкивающимся телом, степень осадки кратера от удара, за которым следует формирование промежуточного шара, а также непосредственное влияние огня и взрыва на местную экологию - все это области научных знаний, которые недостаточно хорошо сформированы. Их современная оценка зависит в большой степени от моделирования и наблюдений за 160 захороненными и разрушенными кратерами, идентифицированными на Земле до настоящего времени, а также от изучений внеземных кратеров. Научная информация, собранная сразу же за столкновением, окажется исключительно важной для научной общественности, чтобы связать отдельные мгновенные эффекты от событий такого рода. Такая информация имеет отношение к оценке роли, которую столкновительные события имели для земной биосферы в прошлом.

4) *Документация изменений во времени.*

Геологические и биологические изменения, происходящие внутри ударного кратера и в окружающей среде немедленно после столкновения, поняты не очень хорошо.¹ НКРС может взять на себя ответственность за организацию длительных программ для отслеживания внутри кратера и вне его, чтобы изучать долгосрочные перемены аналогично проектам по изучению геологических и биологических изменений после извержений вулканов. Такие программы мониторинга обеспечат первый систематический набор данных по геологическим и биологическим изменениям, произошедших после столкновения, с самого первого момента. Этим они отличаются от нынешних геологических и биологических исследований, которые были начаты через значительное время после столкновения. Такая информация может иметь некоторые приложения и для гражданского планирования. Например, когда можно ожидать охлаждения гидротермальных систем до такой температуры, которая станет безопасной для населения, находящегося внутри кратерной зоны? После установления программ долгосрочного мониторинга вокруг кратера НКРС предоставит информацию, позволяющую дать хорошо организованный ответ для гражданского планирования на долгий период после столкновения.

СОСТАВ НКРС

Состав НКРС в широком смысле можно разделить на два типа участников: (1) ученые, собирающие информацию для научного использования и для передачи сотрудникам, отвечающим за облегчение причиненных бедствий; (2) персонал, отвечающий за облегчения причиненных бедствий и работающий рука об руку с учеными для интерпретации данных, чтобы передать их гуманитарным организациям и службам по чрезвычайным ситуациям. Теоретически, альтернативный подход к НКРС заключается в объединении ученых, занимающихся столкновениями, в рамках существующих служб по чрезвычайным ситуациям. Это было бы ценным, если осуществлять одновременно с организацией НКРС. Впрочем, ценность отдельной команды в том, что она способствует проведению совместных обсуждений по разным эффектам столкновения (пожары, сбросы, взрывы и т. д.) между различными учеными - специалистами по удару. Так как оценка событий при столкновении требует знания геологических эффектов и изменений окружающей среды, может оказаться излишним дублировать усилия и включать этих специалистов по столкновениям в каждую из привлеченных служб по чрезвычайным ситуациям. Благодаря быстроте современных средств связи централизованная НКРС должна быть эффективной для распространения координированного и логически последовательного набора информации в интересах многих организаций.

Некоторые предлагаемые специальности сотрудников приводятся ниже вместе с комментариями, что они могли бы сделать для НКРС.

Ученые

Геологи выдают информацию о давлении в ударной волне, характеристиках подстилающих пород, сбросах и т.п. Они должны быть готовыми к передаче этой информации разумным образом гражданским инженерам и сотрудникам служб по чрезвычайным ситуациям, работающим с практическими последствиями геологических перемен.

Биологи и специалисты по окружающей среде выдают информацию о влиянии на окружающую среду после столкновения. Они будут связаны с сотрудниками гражданской обороны и организаций по чрезвычайным ситуациям для определения опасности от токсинов, пожаров и других потенциально опасных побочных эффектов экологических изменений, вызванных столкновением.

Гидрологи выдают информацию об эффектах цунами и об угрозах побережью, если место столкновения находится на дне океана.

Не говоря о помощи в интерпретации данных для организаций по чрезвычайным ситуациям, эти разные специалисты достигнут скоординированного научного изучения непосредственных результатов столкновения и скоординированного долгосрочного экологического исследования района столкновения. Итак, научный персонал НКРС станет основой долгосрочной экологической исследовательской группы.

Специалисты по чрезвычайным ситуациям

Гражданские инженеры используют геологическую информацию, представленную специалистами по столкновениям, для оценки влияния на здания и другие важные гражданские структуры (дамбы и т. п.). События при столкновении вызовут характерные примеры сбросов и обвалов, и специалисты по столкновениям, работающие бок о бок с гражданскими инженерами, смогут обеспечить гораздо более последовательную оценку эффектов.

Специалисты по пожарам обеспечат тушение в местах возгорания и скоординируют борьбу с огнем в результате консультаций со специалистами по воздействиям столкновения на окружающую среду.

Специалисты по землетрясениям оценят геологические данные, представленные специалистами по столкновениям (включая геологов), в контексте влияния землетрясений на важные гражданские структуры.

Врачи обеспечат медицинскую помощь для населе-

ния, если оно будет задето столкновением. После консультаций со специалистами по окружающей среде они попытаются оценить потенциальные медицинские проблемы (токсины от пожаров после столкновения, рваные раны от взрывной волны и т.п.), а также те районы, где эти проблемы окажутся самыми насущными. Они будут таким образом координировать деятельность медицинских учреждений.

Гражданская оборона обеспечивает координацию эвакуации населения и безопасность для геологов, биологов и инженеров, предоставляя информацию о степени разрушений.

Организации гуманитарной помощи обеспечивают скоординированные действия по предоставлению продовольствия, медицинских препаратов и т. п.

Военный персонал обеспечит обратную связь и координацию действий вооруженных сил, привлекаемых для безопасности населения и помощи от разрушений, включая воздушные перевозки.

НКРС будет разделена на два сегмента. Первый - это группа реагирования на столкновение, ответственная за немедленное проникновение в окружающую среду после столкновения - в ее составе может быть около 10 сотрудников. Второй - это основная часть НКРС, которую направят в район столкновения, как только будут установлены безопасные места для группы реагирования. Особенности обоих сегментов описываются в последующих разделах, посвященных реакции на события после столкновения.

ЗАВИСИМОСТЬ ОТ МЕСТА СТОЛКНОВЕНИЯ

Относительная важность различных категорий лиц, включенных в НКРС, будет зависеть от того, где произошло столкновение. При составлении команды, которое было описано выше, предполагался наихудший сценарий: столкновение произошло в наземном районе с высокой плотностью населения. Это самое разумное предположение с точки зрения планирования действий после столкновения.

Поскольку три четверти поверхности нашей планеты занято океаном, наиболее вероятным эффектом столкновения окажется цунами в прибрежных районах, а при этом геологические эффекты столкновения могут быть менее важными. Внимание будет сосредоточено на вторичных эффектах цунами в отношении населения и зданий, расположенных в прибрежных районах. Последствия не связаны прямо с эффектами «столкновения» - это будут изменения, вызванные любым побережным цунами. Впрочем, даже в этом случае взгляды и знания специалистов по столкновениям окажутся полезными для оценки масштаба цунами и его происхождения, и таким образом помогут получить карты районов, которые подвергнутся наибольшему воздействию.

На суше большинство столкновений придется на ненаселенные районы. В этом случае задачей НКРС станет чистый сбор научной информации (задачи 3 и 4 из приведенного ранее перечня). Ответственность НКРС за смягчение бедствий может оказаться ограниченной. Тунгусское событие может быть хорошим примером для этой категории, где группы НКРС оказались бы ценными для сбора информации о непосредственных эффектах этого события, которые сейчас исчезли. Ученые собрали научную информацию только через 19 лет после события. Хотя взрыв повалил около двух тысяч квадратных километров леса и подействовал на несколько местных поселков, его влияние на людей оказалось ограниченным. В такой ситуации можно понизить ранг НКРС до группы первичного научного реагирования с некоторой степенью реагирования на смягчение бедствий, если это понадобится.

ВВЕДЕНИЕ НКРС В ДЕЙСТВИЕ

Как будет вводиться в действие НКРС? Описанная выше группа будет существовать в латентном состоянии. Введение ее в действие может стать обязанностью крупной международной организации, например, ООН. Страна, подвергшаяся столкновению, попросит ООН ввести в

действие НКРС, которая затем разворачивается в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.

В системе должна присутствовать большая степень дублирования по двум причинам. Прежде всего, если событие произойдет в небольшой стране и при этом столица окажется разрушенной (или погибнет правительство), тогда соседи этой страны или другие международные организации должны иметь возможность ввести в действие НКРС без соответствующего требования со стороны правительства подвергшейся катастрофическому явлению страны.

Столкновение

Реакция национального правительства
или правительства соседней страны

ООН (или следующая организация)

вводят НКРС в действие

НКРС ВВЕДЕНА В ДЕЙСТВИЕ

Размещение группы СТОЛКНОВЕНИЕ в районе кратера

Размещение в кратере остальной части НКРС

Научная и гуманитарная реакция

Рис. 2: Предполагаемая схема введения НКРС в действие

Во-вторых, хотя это менее вероятно, сама ООН может оказаться разрушенной. Попадание небесного тела в Северную Америку или в Атлантический океан, похоже, может вызвать разрушения в Нью-Йорке и повлиять на операции ООН, хотя ее вспомогательные учреждения все еще могут ввести НКРС в действие. Следует определить последовательность второстепенных и третьестепенных организаций, обладающих полномочиями введения НКРС в действие. Итак, дублирование должно существовать для обращения за помощью НКРС и также для возможности ввода НКРС в действие.

Члены НКРС могут быть распределены по всему свету. И они тоже должны иметь дублеров, поскольку члены команды сами могут подвергнуться эффектам столкновения в зависимости от масштаба и места события. Средства связи с членами НКРС должны быть эффективными, а связь может осуществляться через спутники.

ЭТАПЫ РЕАГИРОВАНИЯ ПОСЛЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

Вслед за введением НКРС в действие должна быть предусмотрена четко определенная последовательность действий. Первая реакция должна быть осуществлена хорошо подготовленной группой, которую можно разместить в окружающую район столкновения местность для сбора в реальном времени с использованием спутниковых технологий самой последней информации об условиях после столкновения и об эффектах столкнувшегося тела. Эту группу раньше уже назвали группой СТОЛКНОВЕНИЕ, и она представляет собой часть самой НКРС (смотрите раздел о составе НКРС). Эта группа СТОЛКНОВЕНИЕ должна быть небольшой - примерно около десяти членов. В нее должны входить геолог, биолог, специалист по пожарам, гражданский инженер, а остальными членами могут быть военные, обученные к операциям в чрезвычайных ситуациях.

Научная часть группы СТОЛКНОВЕНИЕ проведет предварительную тренировку в военных подразделениях в условиях чрезвычайных ситуаций. Военный персонал, работающий с этой группой и используемый для тренировки ученых, должен принадлежать к существующим элитным военным подразделениям. Авиакомпаниям САС и «Дельта» - это два примера элитных военных подразделений, которые обучены работать во многих условиях, включая войны в городах, джунглях, пустынях и в полярных областях. Ценность военных подразделений особенно связана с действующей без выбора природой вызванных столкновениями явлений. В отличие от вулканических извержений, которые происходят в конкретных горячих точках, столкновения с кометами или астероидами не локализованы в конкретных областях Земли. Поскольку потенциально столкновение может произойти в пределах

любой экологической области, элитные войсковые подразделения представляют очевидный интерес для НКРС, так как они обучены действовать в любой обстановке. Очевидно, что нормальные операционные роли для этих военных подразделений, включая скрытые действия против людей, не имеют отношения к задачам НКРС, но их ценность, (даже только для обучения) связана с обширным опытом тренировок в любых обстановках и со способностью быстрого проникновения в некоторые районы Земли с экстремальными условиями.

Группа СТОЛКНОВЕНИЕ будет отвечать за несколько вопросов. Они таковы: (1) отыскать безопасные места вблизи кратера или области разрушений от воздушного взрыва для оставшейся части НКРС, чтобы скоординировать медицинскую, психологическую и гуманитарную помощь (если это возможно) и вести долгосрочные научные наблюдения; (2) собрать первичную информацию о размерах зоны взрывного удара, зоны пожаров и областей обвалов для научного документирования эффектов столкновения, которая послужит начальным набором данных в долгосрочной программе мониторинга.

Через некоторое время (от нескольких часов до нескольких дней) после размещения группы СТОЛКНОВЕНИЕ НКРС организует операции вокруг кратера или области разрушений от воздушного взрыва для координации более длительного спасательного и научного мониторинга. В этих действиях примут участие уже обозначенные ранее участники НКРС. Полное число участников НКРС может быть около пятидесяти.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Слежение за траекториями астероидов и комет, а также разработка мер противодействия космического базирования для отклонения этих тел от Земли^{13и1} могут уменьшить опасность столкновения, но такие меры не гарантируют стопроцентную эффективность. Более того, до размещения таких мер противодействия Земля останется уязвимой. Независимо от разработки планетарных мер по защите Земли, наша цивилизация должна обладать наземными процедурами для реагирования на столкновение.

Выше я дал описание возможной архитектуры того, как международная общечеловечность могла бы прореагировать на соударение с небольшим астероидом или с не очень крупной кометой. Научная команда по реагированию на столкновение (НКРС) обеспечит скоординированное научное реагирование и скоординированную связь между научной общечеловечностью и международными службами по чрезвычайным ситуациям, чтобы разобраться с непосредственными эффектами столкновения астероида или кометы, создавшего локальные разрушения. Мое изложение - это базис для будущих обсуждений. Подчеркиваю, что логически более последовательный план реагирования на явления, вызванные столкновением, в действительности потребует серьезных обсуждений между различными специалистами по чрезвычайным ситуациям и учеными.

БЛАГОДАРНОСТИ

Я хотел бы выразить признательность за обмен мнениями и за идеи, возникшие в результате обсуждения после моего выступления на десятой Рабочей группе ESF IMPACT, прошедшей в Королевском колледже, Кембридж, Великобритания в марте 2003 г.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. V.A. Bronshten, "Nature and destruction of the Tunguska cosmical body", *Planet. Space Sci.* 48: 855-870 (2000).
2. D. Morrison, C.R. Chapman, and P. Slavic, "The impact hazard". *Hazards due to comets and asteroids* (T. Gehrels, editor), Tucson: University of Arizona Press, (1994) pp. 59-91.
3. T.J. Ahrens and A.W. Harris, "Deflection and fragmentation of near-earth asteroids," *Nature* 360: 429-433 (1992).
4. H.J. Melosh, I.V. Nemchinov, and Y.I. Zetzer, "Non-

- nuclear strategies for deflecting comets and asteroids", *Hazards due to comets and asteroids* (T. Gehrels, editor), Tucson: University of Arizona Press, (1994), p. 1111-1134.
5. A.W. Harris, "Evaluation of ground-based optical surveys for near-earth asteroids," *Planet. Space Sci.* 46: 283-290(1998).
 6. C.R. Chapman and D. Morrison, "Impacts on the earth by asteroids, comets: Assessing the hazard." *Nature*, 367: 33-40 (1994).
 7. O.B. Toon, K. Zahnle, D. Morrison, R.P. Turco, and C. Covey, "Environmental perturbations caused by the impacts of asteroids and comets." *Review of Geophysics* 35: 47-78 (1997).
 8. L.W. Alvarez, W. Alvarez, F. Asaro, and H.V. Michel, "Extraterrestrial cause for the Cretaceous-Tertiary extinction." *Science* 208: 1095-1108 (1980).
 9. R.P. Binzel, "The Torino impact scale." *Planet. Space Sci.* 48: 297-303 (2000).
 10. V. Garashnek, D. Morrison, and F.M. Burkle, "The mitigation, management and survivability of asteroid/comet impact with Earth." *Space Policy* 16: 213-222 (2000).
 11. См. ссылку [7].
 12. C.S. Cockell and P.C. Lee, "The biology of impact craters - a review." *Biological Reviews* 77; 279-310 (2002).
 13. См. ссылку [2].
 14. См. ссылку [3].
 15. См. ссылку [4].
 16. См. ссылку [5].