

# Космическая защита Земли: первый эксперимент

П.А.Александров, В.В.Горев

**А**строномические наблюдения за ближним и дальним космосом, изучение планет Солнечной системы, интенсивное освоение околоземного пространства заставляют признать реальность астероидно-кометной опасности. С ее проявлениями — соударениями (так называемыми импактными событиями) малых космических тел (МКТ) с Землей и другими планетами Солнечной системы — мы сталкиваемся систематически. Под МКТ подразумевают космические объекты с размерами от долей миллиметра до многих километров, перемещающиеся в космическом пространстве по баллистическим траекториям (рис.1). К ним относятся кометы, астероиды, метеороиды и межпланетная пыль. Характерные скорости тел при входе в атмосферу составляют около 20 км/с. При достаточных размерах они угрожают здоровью и даже жизни людей, а также способны причинить экономический ущерб, что выводит проблему из чисто научной в общественно-политическую плоскость. Но последняя точка зрения разделяется не всеми.

## Оправданны ли опасения?

В последние десятилетия теме астероидно-кометной опасности посвящаются научные конференции [1–5], книги [6–8],



**Петр Анатольевич Александров**, доктор физико-математических наук, профессор, директор Института информационных технологий Национального исследовательского центра «Курчатовский институт». Область научных интересов — физика поверхности и нанотехнологии.



**Владимир Васильевич Горев**, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник того же института, занимается физикой мощных пучков заряженных частиц, инерциальным термоядерным синтезом.

статьи в специализированных и популярных журналах [9–12]. Участники конференций неоднократно призывали разработать международную программу обнаружения и всестороннего исследования угрожающих Земле МКТ, чтобы в итоге создать надежную систему защиты.

Национальные и международные организации, ориентированные на мониторинг МКТ, опасных для всей планеты, были в конце концов учреждены. Резолюция Парламентской ассамблеи Совета Европы (1996) призвала правительства европейских стран поддерживать исследования в этом направлении. Тогда же в Риме родилась международная ассоциация «Космическая стража» («Space Guard»), в состав которой вошла и Россия. Цель «Космической стражи» — организация общей системы обнаружения и определения орбит вызывающих беспокойство астероидов и комет. В 2011 г. при Научном совете РАН по космосу была образована экспертная рабочая группа по космическим угрозам, в которую вошли 50 представителей из научных учреждений РАН, Роскосмоса, МЧС, МО и др.

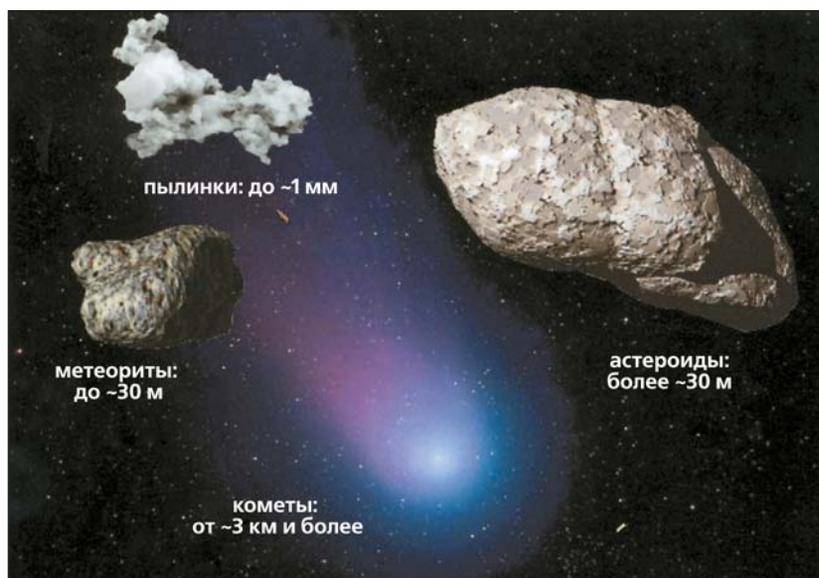


Рис.1. Характерные оценки размеров для различных классов малых космических тел [6].

Однако, оценивая положение дел в этой области в целом, нельзя не заметить, что создание системы космической защиты Земли фактически буксует. Основное внимание сосредоточено на материально-технической базе мониторинга космоса (сети новых телескопов оптического и инфракрасного диапазона наземного и космического базирования, а также радиотелескопов) и на самом мониторинге, чтобы обнаруживать и каталогизировать МКТ (к телам посылаются автоматические станции для изучения их физико-химических свойств). Подобная систематическая исследовательская работа совершенно необходима, так как пока мы знаем о МКТ явно недостаточно, но задачу построения защитной системы она не решает. Нужно одновременно действовать и по другим направлениям, в том числе готовить и проводить прямые активные эксперименты с МКТ. Именно тогда станет ясно, что сегодня реально можно противопоставить угрозе из космоса.

Космическая угроза весьма специфична и в силу этого в целом недооценивается. Во-первых, она относительно маловероятна. Удар небольшого МКТ диаметром около 30–40 м с мощностью взрыва 10–100 мегатонн тротилового эквивалента (Мт ТЭ) можно ожидать один раз в 100–300 лет. Но пока полное число и траектории таких МКТ точно не известны. Во-вторых, потенциальный катаклизм не имеет ограничения сверху по энергии удара. В Солнечной системе есть много небесных тел со размерами и скоростями, значительно большими чем у Тунгусского метеорита. В-третьих, реальной возможности противостоять удару МКТ диаметром более 0.5–1 км нет (такие технологии не существуют и в ближайшие десятилетия вряд ли появятся). В-четвертых, угроза из космоса носит постоянный

характер — она была, есть и никогда не исчезнет. Наконец, оценка вероятности любого события не дает ответа на вопрос, когда именно и где оно произойдет. Например, в ночь на 30 сентября 2013 г. на расстоянии всего 11.3 тыс. км от Земли пролетело МКТ размером 15–20 м со скоростью около 16 км/с. Оно было обнаружено всего за несколько часов до пролета, и, если бы удар пришелся по поверхности Земли, мощность взрыва составила бы до 0.75 Мт ТЭ.

Глобальность угрозы, которую не устранить усилиями одной страны, требует полноценного международного сотрудничества. Когда работа по обнаружению и систематизации траектории МКТ в Солнечной системе будет выполнена, фактор внезапности их появления вблизи

Земли резко снизится, хотя в полной мере его исключить нельзя. Всегда будут возможны неконтролируемые отклонения от расчетных траекторий, в том числе переводящие МКТ с неопасных для Земли траекторий на опасные. Поскольку время наблюдения астероидов сравнимо с периодами их обращения, достоверно выявить существующие отклонения орбит большинства астероидов трудно. Что может случиться с опасным космическим гостем на Земле?

При попадании МКТ в плотную среду его кинетическая энергия превращается в тепловую за время  $\Delta t \sim l/u$  ( $l$  — длина пробега МКТ,  $u$  — его скорость). Конденсированное вещество тела преобразуется в холодную, сильно неидеальную плазму, первоначально находящуюся под давлением  $10^5$ – $10^6$  атм. Расширяясь, эта плазма наносит удар по окружающей среде, разрушая и разбрасывая вещество, — происходит взрыв. В сплошной среде генерируются ударные волны, распространяющиеся далеко от области взрыва. Если он происходит в атмосфере, возможно сильное световое излучение. Если тело или его обломки достигают твердой поверхности, происходит выброс грунта, по массе приблизительно на три порядка выше массы МКТ, образуется ударный кратер, значительная часть грунта поднимается в виде пыли в верхние слои атмосферы [13, 14]. Удар тела о водную поверхность большого акваторий порождает цунами, причем наиболее катастрофические масштабы явление приобретает, если диаметр МКТ больше 10% от глубины в точке соударения. Поскольку средняя глубина Мирового океана ~4 км, гигантских цунами можно ожидать при размере тела более 0.4 км. Если же он превышает 3 км, общая масса воды, которая будет дополнительно выброшена в верхние слои атмо-

сферы (выше тропопаузы) будет сопоставима с массой водяного пара, уже находящегося там, что приведет (как показали многочисленные расчеты) к скачку температуры в несколько десятков градусов и разрушению озонового слоя.

Известно, что при скорости соударения около 3 км/с удельная кинетическая энергия тела сравнивается с удельной энергией взрывчатого вещества средней мощности типа тринитротолуола ( $Q_{\text{тнт}} = 4.2$  МДж/кг). При скорости в 30 км/с она уже на два порядка больше, поэтому железный астероид с характерным размером 50–100 м, движущийся с такой скоростью, несет энергию, эквивалентную одной гигатонне ТЭ. Иначе говоря, удельная кинетическая энергия МКТ занимает промежуточное положение между самыми мощными из известных (и перспективных) химических взрывчатых веществ и ядерными материалами.

После входа в атмосферу скорость МКТ падает из-за сопротивления воздуха, т.е. часть энергии уходит на трение. Дальнейший сценарий в сильной степени зависит от размера тела, его скорости, поперечной нагрузки и прочих характеристик. Данные многолетних наблюдений свидетельствуют, что мелкая пыль диаметром до 1 мм полностью сгорает в атмосфере; чаще всего та же участь постигает и более крупные частицы размером до 50 см. Исключения могут составить железные метеориты как самые прочные. Еще более крупные метеороиды (от 0.5 до 30 м) распадаются на мелкие осколки в верхних слоях атмосферы и частью сгорают, а частью достигают земли с небольшой скоростью.

Тела диаметром от 30 до 100 м в поперечнике уже представляют угрозу серьезных разрушений, хоть и на ограниченной территории. Полное энерговыделение при падении стометрового метеорита, движущегося со скоростью 20 км/с, эквивалентно взрыву в 400 Мт ТЭ. Для километрового астероида оценка окажется еще на три порядка большей — такой взрыв может полностью уничтожить небольшую страну, а при попадании в океан вызовет цунами высотой ~100 м, которое опустошит все прибрежные регионы.

Потенциально опасными сейчас признаны МКТ, имеющие перигейное расстояние менее 0.05 а.е. (7.5 млн км) и диаметр от 150 м, энерговыделение от которых на поверхности земли составит более мегатонны ТЭ; среди астероидов, сближающихся с нашей планетой, таких около 20% (рис.2). В принципе на основе имеющегося опыта нижнюю границу размеров следовало бы снизить до нескольких десятков метров.

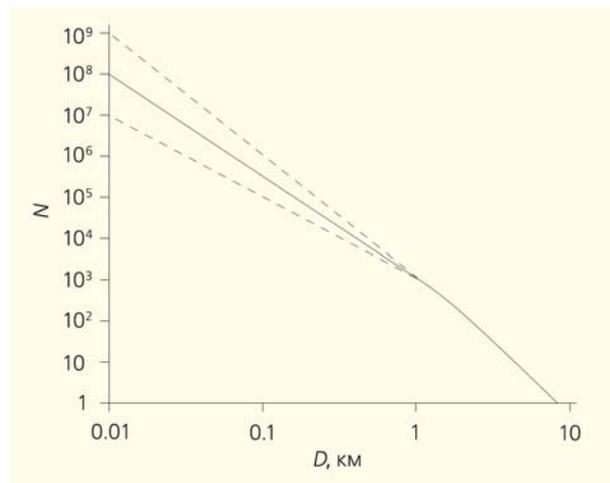


Рис.2. Распределение по размерам астероидов, проходящих от Земли на расстояние менее 0.1 а.е. ежегодно.  $D$  — диаметр астероида,  $N$  — число астероидов с размером больше  $D$ ; штриховыми линиями показаны погрешности [10].

### Наглядные примеры

МКТ непрерывно бомбардируют поверхность Земли, однако атмосфера играет роль естественного газового щита для небольших тел. Они могут взрываться в атмосфере, порождая ударную волну, как это произошло с Тунгусским метеоритом, или непосредственно достигать поверхности Земли, нанося по ней сильный удар с образованием кратера и всеми сопутствующими явлениями, как было в Аризоне (диаметр тела ~50 м, энергия взрыва до 150 Мт ТЭ [6], рис.3). Результат удара крупного метеорита по поверхности Марса показан на рис.4.



Рис.3. Кратер Каньон Дьявола (штат Аризона, США) [6].

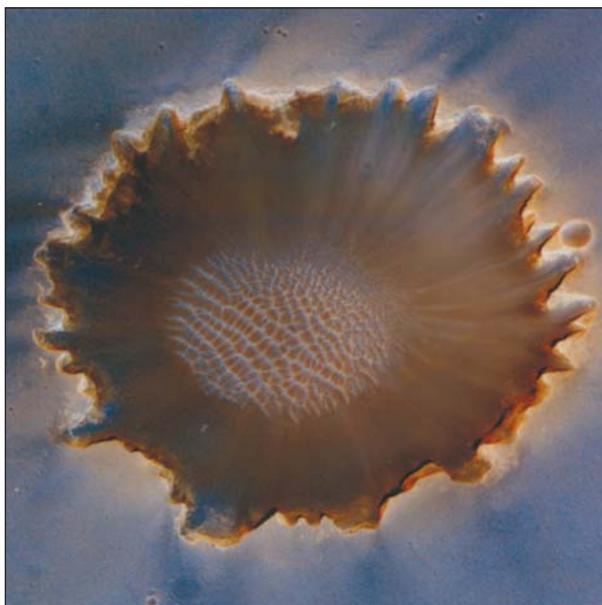


Рис.4. Кратер Виктория на Марсе [6].

Последнее событие, связанное с падением метеорита, имело место утром 15 февраля 2013 г., когда на большой площади, включающей шесть областей России и две — Казахстана, поверхности достигла группа небольших каменных метеоритов — фрагментов крупного метеороида (так называемого Челябинского метеорита\*). Метеороид начал распадаться вследствие удара о плотные слои атмосферы и последующей абляции на высоте 30—50 км. Распад сопровождался серией из четырех (по другим данным — трех) взрывов, самый мощный из которых произошел на высоте 23 км. До поверхности Земли долетело не более 10% вещества метеороида, причем самый большой из числа найденных на сегодня осколков весит более 500 кг. Метеороид вошел в атмосферу Земли под очень острым углом на скорости около 18.3 км/с и полностью разрушился через 32.5 с полета, пройдя в атмосфере над Землей до разрушения около 600 км. Скорость осколков на высоте 15 км составила ~4.3 км/с. Кинетическая энергия метеороида в момент входа в атмосферу была эквивалентна 0.4—0.5 Мт ТЭ.

Оценка энергии серии высотных взрывов Челябинского метеорита проводилась различными способами разными группами исследователей. Гео-стационарный спутник Министерства обороны США зафиксировал\*\* максимальные значения светимости от первого взрыва на уровне около  $3.75 \cdot 10^{14}$  Дж (время свечения составляло приблизительно 5 с). По оценкам, энергия воздушного взрыва, который произошел на высоте 23.3 км, равня-

лась около 0.44 Мт ТЭ. Получается, что доля энергии, потерянной телом на световое излучение, оказалась не менее 17%, остальная была потрачена на формирование ударной волны и разрушение метеорита. В любом случае энергия высотного воздушного взрыва была весьма велика, как велики были и последствия воздействия взрывной волны на объекты и людей, попавших в зону поражения.

Надо сказать, что удар Челябинского метеорита — это не такое редкое событие, как может показаться. Вошедшее в атмосферу над Сибирью в районе р.Подкаменной Тунгуски в 1908 г. МКТ (по-видимому, комета или ее обломок) широко известно теперь как Тунгусский метеорит. Воздушный взрыв на высоте 7—10 км был весьма мощным (от 10—15 Мт ТЭ, по предварительным оценкам, до 40—50 Мт ТЭ — по более поздним), но не привел к значительному экономическому ущербу или человеческим жертвам, так как случился над малонаселенной местностью. Между 1908 и 2013 гг. произошло еще два похожих события: в 1930 г. в районе р.Амазонки упало МКТ с кинетической энергией, эквивалентной 1 Мт ТЭ, а в 1947 г. в Восточной Сибири — с кинетической энергией, соответствующей нескольким килотоннам ТЭ (Сихоте-Алиньский метеорит).

Всего за период 1975—1992 гг. разведывательные спутники США обнаружили\*\*\* около 130 взрывов в атмосфере на высотах 30—45 км, со средней мощностью около 1 кт ТЭ каждый. По современным данным, в пределах радиуса орбиты Луны МКТ размером в несколько десятков метров появляются ежемесячно, т.е. количество МКТ, проходящих в нежелательной близости от Земли, довольно велико.

Но вернемся к инциденту с Челябинским метеоритом. Весьма опасный космический объект не был обнаружен вплоть до момента входа в атмосферу, когда до серии мощных воздушных взрывов оставалось менее 30 с! Таким образом, данное импактное событие оказалось совершенно неожиданным. Частично это объясняется относительно малыми размерами тела, но в основном — полной неподготовленностью к опасностям такого рода.

Вообще-то единственный за всю историю наблюдений случай, когда удалось заранее заметить и полностью отследить полет небольшого астероида до момента входа в плотные слои атмосферы Земли, имел место 6—7 октября 2008 г. Тогда МКТ, получившее имя Астероид 2008 TC<sub>3</sub>, было обнаружено оптическими средствами на расстоянии ~1 млн км за 19—20 ч до падения (рис.5). Согласно расчету траектории, проведенному в лабораториях реактивного движения NASA, вероятность столкновения с Землей была 98%, а сам вход в атмосферу ожидался над Северо-Восточной Африкой. Были оценены характерный размер астероида (5 м; по уточненным данным —  $4.8 \pm 0.8$  м) и его масса

\* Подробнее о челябинском феномене см. статью М.А.Назарова в этом же номере журнала.

\*\* <http://www.nasa.gov/centers/goddard/home/index.html>

\*\*\* [edu-space.ru/asteroidy-v-atmosfere](http://edu-space.ru/asteroidy-v-atmosfere)

( $131 \pm 5$  т). После оповещения заинтересованных организаций подключились 27 астрономических обсерваторий по всему миру, которые и зафиксировали вход астероида в атмосферу Земли со скоростью 12.4 км/с. Энергия взрыва, сопровождавшегося яркой вспышкой и зарегистрированного спутником MeeoStat-8 и наземными инфразвуковыми станциями слежения за ядерными испытаниями, составила 1.1—2.1 кт ТЭ. Поскольку взрыв произошел на высоте 14—15 км над малонаселенной местностью на севере Судана, никаких разрушений зафиксировано не было. В момент разрушения скорость астероида упала до величины 7.61 км/с; большая его часть сгорела в атмосфере — последующие экспедиции обнаружили всего ~3.95 кг осколков ( $\sim 5 \cdot 10^{-3}$  % от начальной массы).

Но предположим, что нам удалось заранее захватить опасное тело. Как мы можем избежать столкновения?

### Как защищаться

Требования к перспективной системе воздействия на траекторию МКТ сформулировать нетрудно. Вся система должна слабо зависеть от различных внешних условий, быть максимально универсальной, использующей существующие технологии и технику с доказанной надежностью и гарантировать увод тела с траектории столкновения. Результат должен достигаться независимо от формы и скорости МКТ, направления его вращения, материала поверхности, ее структуры и альбедо. Основная масса тела должна приобрести дополнительную скорость в нужном направлении, а фрагменты, если они образуются, должны получаться небольшого размера и также лететь мимо Земли. Хотелось бы разрабатывать систему с минимальным количеством испытаний на неопасных небесных телах разных типов (по перечисленным характеристикам). В дальнейшем мы будем ориентироваться на МКТ с размерами порядка 50—500 м, считая задачу защиты от них наиболее актуальной.

Выдвигались самые разные идеи, предлагающие для изменения опасных траекторий МКТ использовать [6]:

- ядерный взрыв;
- кинетический удар;
- ракетные реактивные ускорители, установленные на поверхности астероида;



Рис.5. Изображение высотного следа астероида 2008 TC3 в атмосфере на севере Судана [6].

— гравитационный буксир (ракетный двигатель располагается на некотором расстоянии от тела, тяга двигателя компенсирует его вес в поле притяжения МКТ, и такой «двойной» объект будет лететь иначе);

— направленный выброс вещества с поверхности астероида (например, под действием сфокусированной солнечной энергии);

— изменение влияния солнечного давления (астероид покрывается отражающим пластиком или краской, строится солнечный парус и др.), а также довольно малый эффект Ярковского [6];

— облако частиц или небольших объектов, созданных специально на пути тела для его торможения;

— космический «бильярд» (МКТ уведется с опасной траектории путем искусственно устроенного столкновения с другим, меньшим по размерам астероидом).

Кратко проанализируем перечисленные методы. В ряде способов необходима или посадка на астероид, или доставка к нему с минимальной конечной скоростью различных агрегатов — солнечного паруса, двигателя и др., что делает их неприемлемыми из-за начальных энергозатрат (требуется большой запас топлива при старте). На опыте был проверен, хоть и ненамеренно, только метод кинетического удара — таким уникальным экспериментом можно считать миссию NASA «Deer Impact» («Глубокий удар»). Ракета «Дельта II» с космическим зондом массой 1020 кг, стартовавшая с Земли 21 января 2005 г. в направлении кометы Темпель I (открытой французским астрономом Э.Темпелем в 1867 г.), имела целью анализ вещества кометы. Через полгода, пройдя

около 86 млн км, зонд приблизился к этому телу размерами  $7.6 \times 4.9$  км и массой  $(7.2-7.9) \cdot 10^{10}$  т на расстояние в 500 км и отправил к нему ударник массой 372 кг и длиной 99 см. Последний был изготовлен из материалов, редко встречающихся в ядрах комет (медь и др.) и, следовательно, неспособных исказить спектральный портрет выброшенного при соударении вещества. Скорость в момент соударения составила 10.6 км/с. При столкновении произошел выброс кометного вещества суммарной массой около 10 тыс. т и образовался ударный кратер диаметром до 110 м и глубиной около 30 м. Весь процесс сближения был зафиксирован телекамерой зонда, который транслировал изображение на Землю. В облаке выброшенной пыли были зарегистрированы струи, состоящие из снега, льда и замерзшей углекислоты, а также отдельные куски вещества размеров в несколько десятков сантиметров, хотя тротиловый эквивалент ударника был невелик (~5 т ТЭ) (рис.6). Оценка изменения скорости кометы, вызванного столкновением с ударником, дает ничтожную величину — менее 1 мкм/с. Итак, прямое кинетическое (ударное) воздействие на траекторию крупного объекта совершенно неэффективно.

Неоднократно проводившиеся расчеты [1, 15] показывают, что единственный реальный метод воздействия на траекторию МКТ — ядерный взрыв. Это связано в первую очередь с гигантским энергосодержанием ядерных материалов (до двух-трех килотонн тротилового эквивалента на килограмм веса изделия) и с наличием проверен-

ных надежных систем. Ядерно-взрывные устройства изначально создавались в массово-габаритных параметрах, пригодных для доставки ракетами; они достаточно дешевы, многократно испытаны на Земле и в космосе, снабжены системами безопасности при транспортировке/хранении и защитой от несанкционированного срабатывания.

Один из наиболее универсальных методов воздействия — взрыв на пролете около МКТ. Вращение астероида здесь будет несущественно, а выбором места подрыва можно «толкнуть» тело в нужном направлении и уменьшить влияние его формы на конечный результат (рис.7). Проведем приблизительную оценку такого воздействия, основываясь на законе сохранения импульса в системе координат, где астероид покоится. При взрывном испарении поверхностного слоя массой  $m$  и скоростью вылета  $v_x$  на астероид массой  $M$  действует реактивная сила отдачи, которая придает ему скорость  $v$ . Рассмотрим тело диаметром 200 м и плотностью  $3$  т/м<sup>3</sup>; величину  $m$  (по результатам наземных испытаний в атмосфере равную массе тротилового эквивалента заряда [6]) положим  $10^6$  т, а  $v_x$  — 500 м/с. Полагая, что взрыв будет происходить на расстоянии 50 м от астероида, уменьшим телесный угол воздействия взрыва в три раза по сравнению с известным случаем плоской поверхности, получим:  $v = m \cdot v_x / M \cdot 3 = 13.5$  м/с. Реально эта величина будет несколько (но несущественно) больше, так как надо учитывать влияние релятивистской компоненты взрыва (электромагнитного излучения), зависящей от конкретных ха-

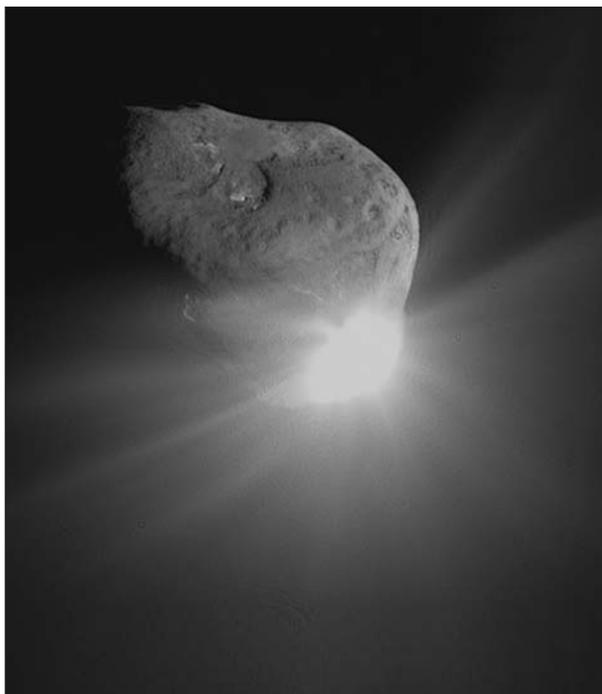


Рис.6. Результат кинетического воздействия на комету Темпель-1.

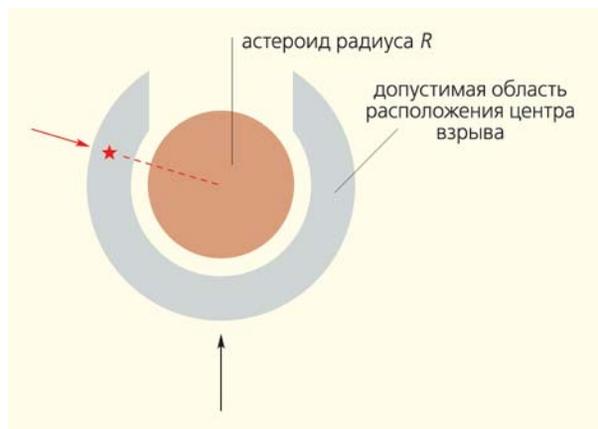


Рис.7. Один из вариантов взаимного расположения астероида (для простоты это сфера радиуса  $R$ ) и точки взрыва ядерного устройства. Черной стрелкой показано направление сближения, цветная обозначает направление дополнительного импульса; звездочка — место взрыва, которое может быть в любой точке допустимой области; ширина допустимой области должна быть не слишком большой ( $< R$ ), так как уменьшается эффективность использования взрыва. Зазор между этой областью и астероидом должен быть достаточным (например, ~100 м), чтобы устройство не разрушилось при случайном задевании астероида.

рактических зарядов. С такой скоростью астероид сместится на радиус Земли  $6,3 \cdot 10^3$  км за пять дней, что дает вполне разумный запас времени для предварительного его обнаружения.

Приведенный расчет весьма приблизителен, поскольку мы пользовались «земными» значениями величин  $m$  и  $v$ . Цена ошибки здесь очень велика, поэтому важно иметь эту информацию для условий космоса.

## Нужен эксперимент!

Узнать, что человечество реально может противопоставить космической угрозе на сегодняшнем уровне науки и техники, можно лишь в ходе полномасштабного физического опыта по ядерному перехвату какого-либо МКТ подходящего размера (десятка или даже сотни метров), движущегося по траектории в освоенной современными ракетами области. Поскольку подготовка к старту космических систем типа «Протон-М» или «Восток» занимает весьма продолжительное время, необходимо обнаружить МКТ на соответствующих расстояниях.

Подобный эксперимент даст ответы на следующие принципиальные вопросы. Осуществим ли в настоящее время реальный перехват МКТ? Будет ли результат перехвата соответствовать прогнозам? Какие элементы системы космической защиты Земли следует развивать в первую очередь, в каком объеме, на каких мощностях, в какие сроки, какой бюджет необходимо выделять, каков потенциал международного сотрудничества? Полученные знания составят научно-технический базис для разработки полноценной постоянно действующей международной программы по проблеме космической защиты Земли.

Воздействие ядерного устройства с заданным энергосодержанием на МКТ зависит от условий применения, в первую очередь от того, будет ли взрыв заглупленным или надповерхностным (приведенным на некоторой высоте над поверхностью астероида), а также от физико-химических свойств вещества МКТ (его плотности, структуры, химического состава, прочностных характеристик, распределения вещества по глубине астероида и т.д.), которые сложно определить по наблюдениям с Земли. Очевидно, что взрыв может вызвать отклонение траектории движения центра масс тела от первоначальной и частичное или полное разрушение астероида на осколки, пыль, пар и т.д. Приводящие к этому факторы: прямой механический удар по поверхности МКТ, производимый плазмой ядерных материалов и конструктивных элементов взрывного устройства; реакция отдачи от реактивной струи, образующейся при испарении материала МКТ под действием всех видов излучения ядерного заряда (рентгеновского, гамма, нейтронов деления и синтеза); дробление тела —

проявляют себя в разной степени в зависимости от высоты подрыва.

В силу неопределенности многих условий результаты расчетов воздействия ядерного взрыва на траекторию и состояние МКТ несколько различаются в деталях [11, 15], но общие выводы совпадают. Учитывая массово-габаритные характеристики ядерных взрывных устройств и возможности современных ракетно-космических систем, придется ограничиться зарядами мощностью до нескольких мегатонн ТЭ. Размеры МКТ, на которые воздействие подобных зарядов будет эффективным, не превышают нескольких сотен метров (до 500—1000 м). Заглупленные взрывы будут эффективнее поверхностных, а поверхностные — надповерхностных. Точность предсказания траектории и состояния МКТ после первого опытного взрыва лимитирована нашими знаниями о физико-химических свойствах вещества тела.

Если взрывать заряд при пролете над поверхностью МКТ на минимально возможном расстоянии, как это предлагалось выше, то, контролируя момент срабатывания, можно осуществить воздействие практически над любой заранее выбранной точкой астероида. При скорости относительного движения 20 км/с и времени энерговыделения не более 0,5 мс перемещение МКТ составит менее 10 м, т.е. взрыв будет почти точечным. Подобное мероприятие даст нам достоверные знания о возможности влиять на траекторию небесных тел в «чистом виде», т.е. в условиях прямого эксперимента.

## Вопросы дипломатам и финансистам

Конечно, на пути предлагаемого опыта есть препятствия — проведение ядерных взрывов и выведение ядерных зарядов в космос запрещены несколькими международными договорами (табл.).

Но нужно учитывать, что ядерное устройство, которое предназначено для защиты всего человечества от внешней угрозы, притом используемое под полным контролем авторитетной международной организации (например, Совета Безопасности ООН), по самой сути не является «ядерным оружием». Такой заряд служит на благо всего человечества, т.е. отвечает самому общему принципу договора 1967 г.

Тем не менее, по-видимому, потребуется определенная корректировка (новая редакция) этих документов с целью разрешить юридически проведение ядерных взрывов в целях организации космической защиты Земли, не нарушая духа и буквы вышеупомянутых законов. Устав ООН содержит положения (п.39, 40, 41), имеющие преимущественную силу перед международными договорами, и позволяет в случае исключительных обстоятельств ими воспользоваться. Так, в силу статьи 103 Устава ООН в обстоятельствах, когда

**Таблица**  
**Действующие международные соглашения\***

| Название и дата                                                                                                                                                       | Содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| «Договор о запрещении испытания ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой»<br>от 5 августа 1963 г.                                          | Содержит запрет на проведение испытательных и любых других взрывов в космическом пространстве и, в частности, гласит: «...Запретить, предотвращать и не производить любые испытательные взрывы ядерного оружия и любые другие ядерные взрывы в атмосфере, за ее пределами, включая космическое пространство, под водой, в любой другой среде, если такой взрыв вызовет выпадение радиоактивных осадков за пределами границ данного государства».                                                                                                                                    |
| «Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела»<br>от 10 октября 1967 г. | Устанавливает наиболее общие международные принципы космической деятельности и в частности гласит: «...Исследование и использование космического пространства должно осуществляться только на благо всего человечества... Государства участники обязуются не выводить ядерное или любое другое оружие массового поражения на орбиту Земли, устанавливать на Луне и любом другом небесном теле, или на околоземной станции».                                                                                                                                                         |
| «Договор о нераспространении ядерного оружия»<br>от 1 июля 1968 г.                                                                                                    | «Каждое из государств-участников настоящего договора, обладающих ядерным оружием, обязуется не передавать кому бы то ни было ядерное оружие или другие ядерные взрывные устройства, а также контроль над таким оружием или взрывными устройствами ни прямо, ни косвенно, равно как и никаким образом не помогать, не поощрять и не побуждать какое-либо государство, не обладающее ядерным оружием, к производству или приобретению каким-либо иным способом ядерного оружия или других ядерных взрывных устройств, а также контроля над таким оружием или взрывными устройствами». |
| «Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний»<br>от 10 сентября 1996 г.                                                                                      | «Каждое государство—участник обязуется не производить любой испытательный взрыв ядерного оружия и любой другой ядерный взрыв, а также запретить и предотвращать любой такой ядерный взрыв в любом месте, находящийся под его юрисдикцией или контролем — каждое государство-участник обязуется далее воздерживаться от побуждения, поощрения, или какого-либо участия в проведении любого испытательного взрыва ядерного оружия и любого другого ядерного взрыва».                                                                                                                  |

\* Все эти договоры ратифицированы и вступили в силу, кроме последнего (из-за позиции КНДР и США).

обязательства членов организации по настоящему Уставу окажутся в противоречии с их обязательствами по какому-либо другому международному соглашению, преимущественную силу имеют первые. Совет Безопасности наделен правом давать рекомендации или решать, какие меры следует предпринять для поддержания международного мира и безопасности.

Сами ядерные заряды и средства их доставки должны находиться под полным и исключительным контролем стран-производителей, доработка (если таковая потребуется) должна вестись странами-производителями без дополнительных испытаний ими самими, участие других стран во всех остальных частях эксперимента никак не должно ограничиваться, если оно не противоречит уже существующим международным договорам.

Стоимость проведения опыта можно приблизительно оценить по аналогии с миссией «Deep Impact» (~380 млн долл. США в ценах 2013 г.).

Для сравнения: стоимость каждой из семи лунных экспедиций по программе «Аполлон» составляла ~400 млн долл. США в ценах 1969 г. (2.4 млрд в ценах 2013 г.). При этом малосерийная ракета «Сатурн-5» (высотой 111 м, весом ~2950 т) стоила тогда 185 млн долл. США, а сам корабль «Аполлон» (весом ~50 т) — 95 млн. Использование серийных ракетных систем обходится значительно дешевле: например, запуск «Протона-М» (полный вес ~700 т, коэффициент надежности — 0.97, выводит на геостационарную орбиту до 3 т груза), оценивается на уровне 25—100 млн долл. Сравнимые с «Протоном-М» характеристики имеют ракетоносители «Зенит-3», «Дельта-4», «Атлас-5», «Ангара» и т.д. Учитывая, что приведенные выше цифры приблизительны и определяются многими факторами, можно оценить стоимость первого опыта по ядерному перехвату МКТ в сумму 0.5—0.6 млрд долл. (сам заряд значительно дешевле ракетносителя и запуска).

Целая система противодействия, работающая на постоянной основе, обходилась бы (исходя из стоимости всей программы «Шаттл» в 200 млрд долл.) в 500–700 млрд долл. Из них небольшая часть (около 3%) будет потрачена на физические эксперименты, систему наблюдения и формирования технического задания на систему, функционирующую в постоянном режиме. С учетом международного характера работы вся сумма составит всего 3–4 долл. США в год в пересчете на каждого жителя Земли в течение 25 лет\*. Заметим, что в 1998 г. среднемировые военные расходы достигали 125 долл. США на человека [16] при общем объеме в 745 млрд, что в ценах 2013 г. дает около 180 долл. на каждого жителя Земли ежегодно.

## Надо дерзать!

Вероятность импактных событий с глобальными катастрофическими последствиями относительно невелика, однако это обстоятельство не может оправдать нежелание решать проблему. Опас-

\* Здесь предполагалось, что в первые 10 лет будут решены юридические вопросы, проведен натурный эксперимент и выработано техническое задание на всю систему в целом.

ность, не имеющая ограничения сверху по негативным последствиям, может возникнуть неожиданно в любом месте, и далеко не очевидно, что у отдельных, пусть и очень развитых стран или даже у всего человечества в целом хватит времени, знаний и организованности, чтобы ей противостоять. Необходимо заранее провести хотя бы минимальную подготовку, объем и направление которой, а также стоимость и поэтапные сроки выполнения можно достоверно и оптимально сформулировать лишь по данным натурного опыта, а не по очень неопределенным аналитическим расчетам. Полномасштабный физический эксперимент, на основе результатов которого можно было бы выработать реальную программу космической защиты Земли, должен стать первым шагом на пути к последней.

Международный проект по борьбе с астероидно-кометной опасностью оказался бы первым действительно всемирным проектом, работа над которым будет вестись постоянно и при самом плотном международном сотрудничестве под эгидой ООН. Такая созидательная и по необходимости очень продолжительная совместная работа различных народов и государств на общий результат будет способствовать устойчивому улучшению взаимопонимания и доверия между государствами. ■

## Литература

1. Забабахинские научные чтения — 94: Сборник трудов международной конференции. Снежинск, 1994.
2. Космическая защита Земли // Известия Челябинского научного центра. Специальный выпуск. 1997.
3. Сборник трудов международной конференции «Проблема защиты Земли от АКО». Снежинск, 1994.
4. Денисов С.С. Создание банков данных астероидов, сближающихся с Землей // 100 лет Тунгусскому феномену: прошлое, настоящее, будущее. М., 2008.
5. Добров А.В., Зайцев А.В., Маглинов И.Д. и др. Возможные подходы к формированию космической службы наблюдения астероидов и комет // Тезисы докладов Международной конференции «Астероидная опасность — 96». СПб., 1996. С.51–52.
6. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра: Сборник / Под ред. Шустова Б.М., Рыхловой Я.В. М., 2010.
7. Адушкин В.В., Немчинов И.В. Катастрофические воздействия космических тел. М., 2005.
8. Шойгу С.К., Воробьев Ю.А., Владимиров В.А. Катастрофы и государство. М., 1997.
9. Шустов Б.М. Астероидно-кометная опасность: роли физических наук в решении проблемы // УФН. 2011. Т.181. С.1104–1108.
10. Верещага А.Н., Заграфов В.Г., Шаненко А.Н. Астероидная опасность для Земли. Проблема предотвращения астероидной опасности // Атом. 1995. Т.17. С.2–5.
11. Заграфов В.Г., Шаненко А.К. Использование ядерных взрывов для перехвата опасных космических объектов // Атомная энергия. 1996. Т. 80. С.21–25.
12. Симоненко В.А. Предотвращение опасных космических столкновений с помощью ядерных взрывов. Возможности и проблемы // Тезисы докладов на Международной конференции «Сто лет Тунгусскому феномену, прошлое, настоящее, будущее». М., 2008. С.21–22.
13. Гордейчик В.И., Забавин В.Н., Щербак М.Д. Облако взрыва и пылевые образования // Физика ядерного взрыва. Т.1: Развитие взрыва. М., 1997. С.243–273.
14. Немчинов И.В., Попова О.П. Суперболиды // Природа. 1998. №7. С.20–28.
15. Симоненко В.А. Опасность космических столкновений и их предотвращение. Ключевые проблемы // Доклад на международной конференции «Проблемы защиты Земли от АКО». Снежинск, 1994. С.71–75.
16. Щерба А.А. Война все дороже и дороже // Военно-промышленный курьер. 2013. Т.45. С.10–11.