

УДК: 523.68

Обстрел Земли из космоса — хроника столетия

В. А. Андрущенко^а, Ю. Д. Шевелев^б

Институт автоматизации проектирования РАН,
Россия, 123056, г. Москва, 2-я Брестская ул., д. 19/18

E-mail: ^а andrusvictor@ya.ru, ^б shevelev@icad.org.ru

Получено 15 сентября 2013 г.

Обоснована актуальность проблемы астероидно-кометной опасности. Проведен краткий перечень падений космических тел на Землю и их пролетов около нее на дистанциях, меньших расстояния до Луны, за последние 100 лет. Поставлен вопрос о разработке федеральной исследовательской программы по космической защите нашей планеты и ее интеграции в международную программу.

Ключевые слова: астероидно-кометная опасность, потенциально опасные объекты, туринская и палермская шкалы, реестр методов предотвращения космической угрозы

The Earth attack from space — the chronicle of century

V. A. Andruschenko, Yu. D. Shevelev

Institute for Computer Aided Design, 19/18 2nd Brestskaya str., Moscow, 123056, Russia

Abstract. — Relevance of the problem of asteroid and comet impact hazard is considered. The short list of falling of space bodies to the Earth and their flights about it on distances, smaller distances to the Moon, for the last 100 years is carried out. The question about development of the federal research program on space protection of our planet and its integration into the international program is raised.

Keywords: asteroid and comet impact hazards, potentially dangerous objects, Torino and Palermo scales, register of methods of prevention cosmic hazard

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2013, vol. 5, no. 6, pp. 907–916 (Russian).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 12-01-00602).

Статья опубликована в специальном выпуске журнала «Компьютерные исследования и моделирование», посвященном исследованиям метеорита, упавшего 15 февраля 2013 года в районе города Челябинска.

К началу XXI века сформировалось новое междисциплинарное научное направление — проблема астероидно-кометной опасности (АКО). К этому времени ее актуальность была признана такими авторитетными организациями, как NASA, ESA и Роскосмос, а при ООН был сформирован специализированный подкомитет [Musser, 2007; Савельев, 2010; Информация о проводимых..., 2005]. Повышенный интерес к этой проблеме вызван осознанием как учеными, так и обществом в целом реальности факта угрозы со стороны космических объектов — малых тел Солнечной системы, которые в результате столкновения с Землей могут привести к катастрофе общепланетарного масштаба. Это осознание пришло по мере накопления достаточно большого количества сведений о малых телах Солнечной системы, их динамической и физической эволюции, в частности о механизмах пополнения популяции опасных тел и частоте их столкновений с планетами, которые, как указывают многие факты (например, для Юпитера [Астероидная атака..., 2010]) происходят гораздо чаще, чем предполагалось ранее.

К счастью, вероятность общепланетарной космической катастрофы достаточно мала, но отнюдь не нулевая, что подтвердилось происшедшим буквально на наших глазах столкновением в июле 1994 года фрагментов кометы Шумейкеров–Леви 9 с Юпитером, в результате которого площади поражения от некоторых из них превысили по размерам площадь земной поверхности [Столкновение кометы..., 1996], а также перманентным обнаружением на материковой и подводной поверхности Земли гигантских (размером в десятки и сотни километров, что соответствует оценочным размерам тел-импакторов в километры и десятки километров [Милош, 1994; Шувалов, Артемьева, Трубецкая, 1999]) кратеров ударного происхождения — астроблем, причем время появления некоторых из них совпадает с историческим временем массового вымирания многих биологических видов (в том числе широко известного факта гибели динозавров [Кринг, Дурда, 2004]) [Иванов, 1994; Shiva structure..., 2006]. Однако следует отметить, что вероятность столкновения Земли с небесными телами меньших размеров (порядка десятков метров) несоизмеримо выше [Шустов, 2010]. Причем столкновение даже с таким небольшим по космическим меркам объектом может не только привести к огромным жертвам и материальному ущербу, но и стать своеобразным спусковым крючком для глобального катаклизма. Так, попадание такого тела в зону разлома земной коры или очага вулканической активности, как показывают оценки, может инициировать катастрофу в десятки и сотни раз превышающую по энергетике непосредственное воздействие самого тела, а попадание в расположение атомных объектов (АЭС) привести к радиоактивному заражению огромных территорий, на порядки превышающих последствия чернобыльской или фукусимской трагедий, не говоря о попадании в склады термоядерного оружия или стартовые площадки ракет стратегического назначения.

За последнюю сотню лет на поверхность Земли упали десятки фрагментов астероидов и комет размером около десяти и нескольких десятков метров.

Первым серьезным событием такого рода, широко освещенным в научной [Кулик, 1927; Васильев, 2004] и научно-популярной [Войцеховский, 1991] литературе, был тунгусский феномен, происшедший 30 июня 1908 года, который трактовался и как падение (взрыв) астероида или снежно-ледяного обломка кометы или даже искусственного космического объекта. Единственными достоверными показателями этого катаклизма являются оценки, выделенные в результате его взрыва энергии порядка 10 Мт, скорости порядка 30–40 км/с, высоты подрыва — 5–10 км и размеры вывала выгоревшего леса порядка 2000 км² (см. рис.1, на котором схематически представлено место падения Тунгусского метеорита). К счастью, эта катастрофа произошла в глухом таежном краю и поэтому не привела к жертвам и разрушениям. Произошла она на 4 часа позже, и Санкт-Петербург с его более, чем миллионным к тому времени населением был бы стерт с лица Земли. Наиболее полно результаты более чем столетней истории тунгусского феномена, послужившего мощным толчком для проведения фундаментальных исследований в самых разных областях человеческого знания, изложены в монографии [Васильев, 2004].



Рис. 1



Рис. 2

Другим, гораздо менее известным для широкой общественности фактом, явилось падение метеорита 13 августа 1930 года в Бразилии, в верховьях реки Куруса в непроходимых джунглях [Кулик, 1931; The 1930 August..., 1995]. Экспедицией, организованной только в 1997 году, были обнаружены три депрессии (одна диаметром примерно в 1 км), ранее идентифицированные снимками со спутников (см. рис. 2, на котором представлена карта района падения Бразильского метеорита, крестиком показано месторасположение депрессий [Бронштэн, 1999]), но осколков метеорита, так же как и в случае тунгусского тела, найти не удалось. По сейсмическим данным была оценена энергия взрыва примерно в 5 Мт, то есть в половину энергии тунгусского взрыва.

12 февраля 1947 года произошло падение Сихотэ-Алинского метеоритного железного дождя в Приморском крае [Сихотэ-Алинский..., 1959, 1963; Цветков, 1989] (см. рис. 3, на котором показаны два варианта границы зоны рассеяния Сихотэ-Алинского метеоритного дождя: большой овал — по современным данным, малый — по данным 1947–1950 гг. В южной части схемы между Большим и Малым метеоритными ключами находится кратерное поле. К нему примыкает так называемая зона сплошной выборки метеоритов поверхностного рассеяния (обведена ломанной черной линией). Восточнее Большого метеоритного ключа метеориты собирались на пробных площадках размером 25×25 и 100×100 м (цифры показывают число находок на данной площадке). Проведенные оценки дали начальную массу метеороида до разрушения в диапазоне от 150 до 600 т и начальную скорость в диапазоне от 12 до 15 км/с. Его энергия была оценена в $(12-42) \cdot 10^6$ МДж, а его разрушение, вероятно, происходило в два этапа: на высотах 22–28 и 10–14 км [Цветков, 1989].

10 августа 1972 года многие очевидцы в США наблюдали яркий дневной болид [Jасchia, 1974; Бейкер, 2013]. Это явление было замечено в штатах Вайоминг, Юта, Монтана и в канадском штате Альберта. Несколько очевидцев отсняли пролет объекта на видео. Кроме того, объект был зафиксирован спутниковыми инфракрасными радиометрами ВВС США. Редкость полета этого болида состояла в том, что он не упал на поверхность Земли, а, отрикошетив от плотных слоев атмосферы на высоте 58 км, унесся обратно в космос (см. рис. 4, на котором приведена фотография этого болида в полете [Бейкер, 2013]). Был отмечен необычно длинный путь болида в атмосфере длиной в 1500 км [Jасchia, 1974].

28 февраля 1984 года в 14 ч. 40 мин. по скоординированному (UT) времени в Красноярском крае, Кемеровской, Новосибирской и Томской областях многие очевидцы наблюдали полет по наклонной траектории в направлении с юг-юго-восток на запад-северо-запад светящегося ярче солнца болида, названного Чулымским [Овчинников, Пасечник, 1988]. Его пролет проходил примерно в 150 км восточнее города Томска, длина проекции светящейся траектории составила 350–500 км. Взрыв болида произошел в верхнем течении р. Чулым, вблизи деревни Калушка, в которой спустя 10 с после яркой вспышки на высоте 2–4 км наблюдались колебания почвы, а позже — звуковые явления. Координаты земной точки 57.7° с. ш., 85.1° в. д. (см. рис. 5,

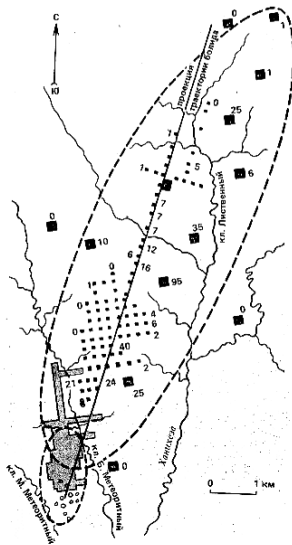


Рис. 3



Рис. 4

на котором представлен район падения болида. 1 — сейсмические станции и их номера, 2 — положение эпицентра взрыва по сейсмическим данным, 3 — проекция траектории болида [Овчинников, Пасечник, 1988]). Кратер и повреждения земной поверхности, а также метеоритное вещество не были обнаружены. Было предположено, что взрыв болида произошел в приземном слое атмосферы на высотах порядка 2–4 км, тогда его мощность составляла 11.2 кт.

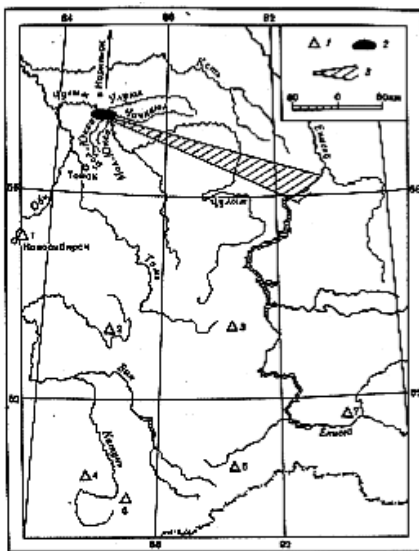


Рис. 5

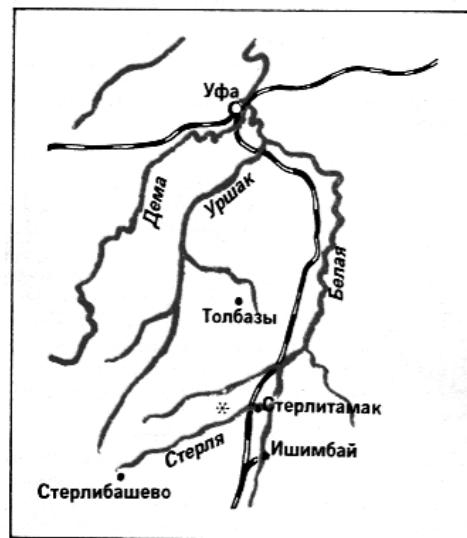


Рис. 6

17 мая 1990 года западнее города Стерлитамака произошло падение железного метеорита, образовавшего 10-метровый конусообразный кратер [Петаев, Гареев, 1992]. Тысячи жителей юга Башкирии наблюдали очень яркий болид на фоне черного звездного неба. Кратер обнаружили через пару дней (рис. 6, на котором звездочкой отмечено местоположение Стерлитамакского кратера). Уже 23 мая группа сотрудников Комитета по метеоритам прибыла на место падения. Сразу

же в окрестностях кратера было найдено 15 деформированных фрагментов железного метеорита. По показаниям очевидцев болид двигался с юга на север примерно под углом 40° к горизонту, оставляя за собой светлый зигзагообразный след. Причем некоторые очевидцы утверждали, что болид светился.

9 декабря 1997 года на юге Гренландии упал гигантский метеорит, его полет наблюдали рыбаки с трех траулеров [Бронштэн, 1999]. Болид зарегистрировали два метеорологических спутника. Астрономы Копенгагенской обсерватории определили массу метеорита в 30–100 т к моменту падения. В апреле 1998 года к северу от города Паамиута были обнаружены мельчайшие частицы метеорита, которые позволили уточнить место его падения — $63^\circ 05'$ с. ш., $50^\circ 48'$ з. д. (рис. 7, на котором крестиком обозначено место падения метеорита на карте Гренландии). Точное время падения (местное) 5 ч. 11 мин. Анализ мелких фрагментов показал, что это был хондрит. Предпринятая в конце июля 1998 года экспедицией американских и датских ученых попытка обнаружить главный метеорит окончилась безрезультатно.

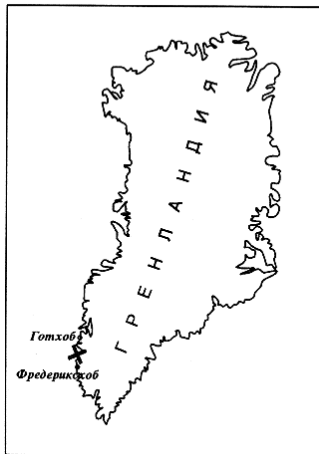


Рис. 7

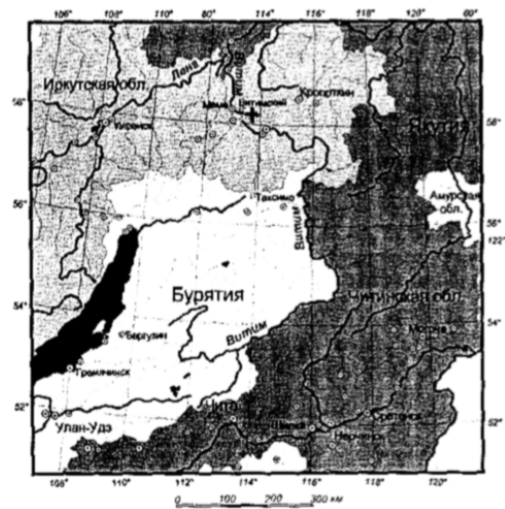


Рис. 8

В ночь с 24 на 25 сентября 2002 года упал Витимский метеорит [Прибытие, 2002; Чернобров, 2007]. Его падение произошло в Мамско-Чуйском районе Иркутской области, вблизи поселков Бодайбо и Мама. Ярчайший болид вошел в атмосферу на высоте 60 км под углом 32° к горизонту. Затем на высоте 30 км произошла вспышка от взрыва над точкой с координатами — $58^\circ 13.6'$ с. ш. и $113^\circ 27.6'$ в. д., которую засек американский военный спутник. По свидетельству очевидцев ночное небо пересекла огромная падающая звезда, рухнувшая в сопки (рис. 8, на котором крестиком обозначено предполагаемое место падения Витимского метеорита). Ослепительная вспышка осветила на несколько мгновений тайгу ярким светом, а затем прогремел взрыв огромной силы — ударная волна выбила стекла практически во всех домах на десятки километров вокруг. Эпицентры этого падения впервые обнаружила экспедиция «Космопоиска», она же пришла к выводу, что, вероятнее всего, на Витиме произошел первый зафиксированный случай выпадения кометного ядра на Землю. Событие, произошедшее в Иркутской области, дало возможность исследователям с полным правом назвать взрыв над Витимом «Тунгусским метеоритом XXI века». Несмотря на многочисленные экспедиции найти главный метеорит не удалось. Данные о размере небесного тела, его скорости и мощности воздушного взрыва более-менее точно не были определены [Прибытие, 2002; Чернобров, 2007].

Вечером 29 сентября 2003 года на индийскую деревню Судусудия в штате Орисса упал метеорит (рис. 9, на котором указано предполагаемое место падения метеорита [Astro bits, 2003]).

В результате этого события два дома сгорели, пострадали 20 человек, двое погибли. Метеорит, поразивший деревню, был фрагментом огромного болида, который пролетел над южными районами Индии, его наблюдали в 11 округах, а в нескольких местах были найдены весьма большие осколки небесного тела. Один из наиболее крупных (5.7 кг) обнаружили жители деревни Пасчима Сунити. «Свет был таким ярким, что на несколько мгновений ночь превратилась в день», — описывал происшествие житель деревни Санатан Саху. Некоторые очевидцы помимо света в небе вспоминали также о страшном «грохоте» и «рыке», с которыми метеорит пересекал небо [Astro bits, 2003].

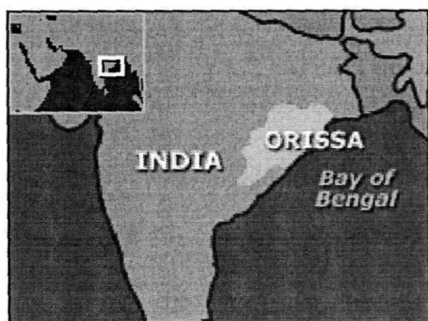


Рис. 9



Рис. 10

15 февраля 2013 года произошло падение Челябинского болида [Писаренко, 2013; *Астрономические и физические...*, 2013]. Утром примерно в 9 ч. 20 мин. местного времени в атмосферу Земли под углом менее 20° к горизонту вошло космическое тело размером 16–19 м. До вторжения в атмосферу оно не было зафиксировано средствами ни космического, ни наземного наблюдения, и только после вхождения в атмосферу оно было замечено с американского спутника. Через некоторое время на высоте примерно 23 км произошла вспышка-взрыв, а через 77 с (в других пунктах через 3 мин и более) к поверхности пришла взрывная ударная волна. Самые большие разрушения от нее произошли в городах Челябинске, Коркино, Копейске и поселке Роза. За медицинской помощью обратилось более 1500 человек, было госпитализировано около 100 человек. Абсолютное большинство пострадали от выбитых стекол — было разбито 7938 деревянных окон и 1077 стеклопакетов. По числу пострадавших падение Челябинского метеорита не имеет аналогов. Кроме того, более 7300 зданий получили повреждения [*Астрономические и физические...*, 2013]. Вдоль траектории падения было обнаружено достаточно много осколков метеорита сравнительно небольших (сантиметровых) размеров, по которым в ГЕОХИ РАН было установлено, что метеорит представляет собой типичный хондрит типа LL и относится к пятому петрологическому типу. Сейчас идут поиски крупного фрагмента, который, по-видимому, упал в озеро Чебаркуль (рис. 10, на котором представлено фото отверстия во льду, предположительно пробитое куском Челябинского метеорита [Макаров, 2013]). Впервые в истории падения небесных тел был собран весьма многочисленный видеоматериал. Получены оценки энергии взрыва его на высоте 23 км с образованием мощной ударной волны (300–500 кт).

Кроме «прямых попаданий» целый сонм космических тел пронесся и пронесется в непосредственной близости от нашей планеты. Существует целая популяция астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), к ним относятся астероиды с перигелийным расстоянием < 1.3 а. е. По общепринятой классификации популяция АСЗ делится на три класса: группы Атона, Аполлона и Амура (см. подробности в [Быкова, Галушкина, 1999]). Из числа этой популяции выделяются потенциально опасные объекты (ПОО), к которым относятся тела, чьи орбиты сближаются с орбитой Земли до минимального расстояния, не превышающего $7.5 \cdot 10^6$ км (< 1.05 а. е.). Основанием для того, чтобы считать тела (астероида и кометы) на орбитах, проходящих от Земли на

расстояниях до 20 радиусов лунной орбиты, потенциально опасными, является то обстоятельство, что в таких пределах можно ожидать хаотического изменения орбит в обозримом будущем под влиянием планетных возмущений, в том числе в результате того, что это — характерный масштаб области неопределенности орбиты малого тела вследствие неточного знания параметров движения этого тела в настоящее время [Шевченко, 2010]. По данным на конец июня 2011 года число ПОО составляло 1237, включая 70 комет, тем не менее сделанные оценки показали, что доля необнаруженных таких тел размером более 1 км — 20 %, размером 140 м — 90 % и размером 50 м — 99 %. При весомой вероятности встречи такого астероида с Землей он считается угрожающим [Шустов, 2010].

Еще одно важное замечание относится к понятию риска. Оценка уровня угрозы (риска) — весьма важная составляющая проблемы АКО, поскольку недооценка риска может привести к тяжелейшим последствиям глобального масштаба, а переоценка — к колоссальным напрасным материальным и социальным затратам. Требуется весьма взвешенный научный подход, и здесь ответственность науки перед человечеством очень высока.

Степень угрозы ПОО определяется в первом приближении произведением вероятности импакта и тяжести возможных последствий (в качестве количественного фактора обычно используют кинетическую энергию ударника). Можно выделить понятия усредненного риска и риска конкретного столкновения.

Р. Бинзел (США) разработал шкалу АКО, аналогичную сейсмологической при оценке возможного ущерба от землетрясений. Он представил эту шкалу участникам симпозиума в городе Турине, и она получила наименование туринской [Шкала астероидной..., 2000]. ПОО делятся на 11 категорий с учетом вероятности их столкновения с Землей, размеров и геоцентрической скорости. К нулевой относятся те ПОО, которые или пролетят мимо, или из-за своих размеров почти полностью сгорят в атмосфере. Но уже первая категория заслуживает внимательного отслеживания орбит. К явно угрожающим отнесены 5–7-я категории, а объекты ПОО 8–10-го уровня опасности неизбежно столкнутся с нашей планетой, разница состоит лишь в степени разрушений на поверхности. В июле 1999 года туринскую шкалу утвердил Международный астрономический союз [Шкала астероидной..., 2000].

Палермская шкала считается более детальной, чем туринская, и является десятичным логарифмом от относительного риска R , определяемого как $R = P_i(f_B \Delta T)$ (здесь P_i — вероятность конкретного столкновения, ΔT — время в годах до ожидаемого события, f_B — число столкновения в год с энергетикой не менее E (Мт), определяемое как $f_B = 0.03 \cdot 10^{-0.8}$. Причем зависимость уточняется по мере появления новой информации [Шустов, 2010]).

Необходимо понимать, что оценки риска как по туринской, так и по палермской (более профессиональной) шкалам являются довольно приближенными. При конкретной угрозе импакта расчет риска всегда индивидуален [Шустов, 2010]. Так, например, появление долгопериодических комет и возможность столкновения с ними в настоящее время вообще практически непредсказуемы. Они обнаруживаются в лучшем случае лишь за несколько месяцев или за год до их появления в окрестности Солнца. Кроме того, долгопериодические кометы имеют большую скорость относительно Земли, а их ядра часто распадаются на крупные фрагменты, что существенно усложняет противодействие их возможному импакту с нашей планетой [Шустов, 2010].

Перечислим некоторые космические тела, которые в прежние годы пролетали в непосредственной близости от Земли, на расстояниях менее расстояния между Землей и Луной (356400 км), то есть по космическим меркам практически «впритирку»:

- 1) по рассекреченным данным национальной лаборатории в Лос-Аламосе (штат Нью-Мексико) в 1944 году нумерованный астероид диаметром около 24 м прошел в 100 000 км от Земли [После нас..., 1997];

- 2) в 1980 году астероид 2002 NT размером около 2 км пролетел также в 100 000 км (а 1 февраля 2019 года по некоторым прогнозам возможен импакт) [Баландин, 2003];
- 3) 23 марта 1989 года астероид 1989 FC размером в несколько сот метров пересек орбиту Земли в точке, где она находилась всего 6 часов тому назад [Лупишко, Яцкив, 1995];
- 4) 18 января 1991 года маленький астероид 1991 VA прошел в 170 000 км [The third..., 1994];
- 5) 20 мая 1993 года астероид 1993 KA2 пронесся в 150 000 км [The third..., 1994];
- 6) 15 марта 1994 года астероид 1994 ES1 диаметром около 10 м и массой в 1500 т пролетел в 160 000 км [The third..., 1994];
- 7) 9 декабря 1994 года астероид 1994 XM1 размером от 6 до 13 м пронесся в 104 000 км [Kiernan, 1994];
- 8) 14 июня 2002 года астероид 2002 MN размером от 50 до 120 м со скоростью 10 км/с прошел на расстоянии в 120 000 км (астрономы Линкольнской обсерватории заметили его только вдогонку) [Курочкин, 2004];
- 9) 2 марта 2009 года астероид 2009 DD45 размером около 20 м со скоростью 20 км/с пролетел на расстоянии 66 000 км [Пролет астероидов..., 2009];
- 10) 18 марта 2009 года астероид 2009 FH размером 15 м прошел на расстоянии 79 000 км [Пролет астероидов..., 2009];
- 11) 9 ноября 2011 года в 3 ч. 28 мин. астероид 2005 YU55 диаметром около 400 м и массой около 55 млн т пролетел на расстоянии 325 100 км [Астероид пролетел..., 2012];
- 12) 15 февраля 2013 года астероид 2012 DA14 размером 44 м и массой около 120 000 т прошел в 27 000 км (в 14 раз ближе Луны!) [Подкрался незаметно, 2013].

Представленные далеко неполные, сведения об упавших на Землю метеоритах и космических объектах, пролетевших в непосредственной близости от нее, дают возможность сделать неутешительный вывод о постоянно довлеющей над человечеством угрозе астрокатастрофы, тем более что необходимые для этого малые тела уже витают в ближних пределах Солнечной системы. Так, в работах [Шустов, Рыхлова, 2009; Финкельштейн, Шор, 2010] изучалась вероятная возможность столкновения с Землей астероида 2004 MN4 (99942 Apophis) размером ~300 м и массой ~100 млн т в 2029 году, когда он приблизится к ней на расстояние ~36000 км, имеющего очень высокий рейтинг опасности по палермской шкале (-2.42). Более того, если этот астероид при сближении в 2029 году не станет импактором, но пролетит при этом в зоне резонансного возврата, так называемой keyhole — «замочной скважине» размером ~1 км, то гравитационное поле Земли так изменит его орбиту, что в 2036 году он гарантировано столкнется с Землей. Из других астероидов довольно высокую вероятность импакта с нашей планетой имеют крупные астероиды 2006 HZ5116 в 2045 и 2065 годах, 2007 VK184 в 2048–2057 годах (рейтинг по Туринской шкале 1) и 2004 VD17 в 2102–2104 годах (рейтинг по туринской шкале >1) [Шевченко, 2010].

В заключение отметим, что проблема АКО реальна, в мире ей занимаются всерьез, и Россия не должна оставаться в стороне от общего развития. В реалиях России главным условием для этого является координация проблемы со стороны государства, в первую очередь для эффективной работы нужна целевая научно-техническая программа федерального уровня. Необходимо совместно с другими ведущими мировыми державами создать эффективный инструментарий наблюдения за малыми телами Солнечной системы для обнаружения опасных космических объектов. Провести их возможно наиболее полный мониторинг, каталогизацию и оценку рисков. Разработать надежные методы противоастероидно-кометной защиты Земли. На настоящее время предложено много различных вариантов защиты Земли от космической угрозы. Большинство из них находятся на пределе возможностей существующих технологий, а некоторые напоминают научную фантастику. Выбор конкретного метода предотвращения опасности зависит от

размера космического объекта — потенциального импактора, его материала и времени упреждения, начиная с момента обнаружения до столкновения с Землей. Наиболее известными являются следующие методы отражения космической опасности: уничтожение опасного космического объекта; отклонение его с орбиты соударения с Землей; экранирование Земли от столкновения с опасным небесным телом; дистанционное воздействие на опасный объект для его отклонения, торможения и разрушения.

Материал по номенклатуре различных аспектов АКО на данном этапе изложен в работах [Астероидно-кометная опасность, 1996; Угроза с неба..., 1999; Катастрофические воздействия, 2005; Кометно-астероидная опасность..., 2007; Космические исследования, 2010; Астероидно-кометная опасность, 2010; Энеев, Ахмедшин, Ефимов, 2011].

Список литературы

- Андрущенко В. А., Головешкин В. А., Султанов И. А., Шевелев Ю. Д.* Кометно-астероидная опасность и возможность ее предотвращения. Состояние вопроса (обзор). Проблемы вычислительной и прикладной механики. Автоматизация моделирования. Вып. 1. / Под ред. В. А. Андрущенко. — М.: Компания Спутник+, 2007. — С. 51–81.
- Астероид пролетел вблизи Земли (Пресс-релиз JPL/NASA, 9 ноября 2011 г.) // Земля и Вселенная. — 2012. — № 2. — С. 51.
- Астероидная атака на Юпитер // Природа. — 2010. — № 9. — С. 37.
- Астероидно-кометная опасность / Под ред. Б. М. Шустова и Л. В. Рыхловой. — М.: Физматлит, 2010. — 384 с.
- Баландин Р. К.* Как отвести угрозу из космоса? // Наука в России. — 2003. — № 6(138). — С. 27–29.
- Бейкер Д. М.* Дневной болид в США в 1972 году // Астрономическая газета. — 2013. — № 1(54). — С. 1–4.
- Бронштэн В. А.* Гигантские метеориты // Природа. — 1999. — № 3. — С. 62–66.
- Быкова Л. Е., Галушкина Т. Ю.* О динамике околоземных астероидов // Исследования по баллистике и смежным вопросам механики. — 1999. — Вып. 3. — С. 130–133.
- Васильев Н. В.* Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908 г. — М.: НП ИД «Русская панорама», 2004. — 372 с.
- Войцеховский А. И.* Что это было? Тайна Подкаменной Тунгуски // Знание. — 1991. — № 8. — 46 с.
- Емельяненко В. В., Попова О. П., Чугай Н. Н. и др.* Астрономические и физические аспекты челябинского события 15 февраля 2013 г. // Астроном. вестн. — 2013. — Т. 47, № 4. — С. 1–16.
- Иванов Б. А.* Геологическое и геохимическое воздействие метеоритных ударов: кратер Чиксулуб // Физические процессы в геосферах (геофизика сильных возмущений). — М.: ИДГ РАН, 1994. — С. 150–156.
- Информация о проводимых международными организациями и другими учреждениями исследованиях относительно объектов, сближающихся с Землей. Комитет по использованию космического пространства в мирных целях. Науч.-техн. подкомитет. 42 сессия ООН. Вена, 21 февраля–4 марта 2005 г. А/АС. 105/839. С. 1–28.
- Катастрофические воздействия космических тел / Под ред. В. В. Адушкина и И. В. Немчинова. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. — 310 с.
- Космические исследования. — 2010. — Т. 48, № 5. — С. 387–496.
- Кринг Д., Дурда Д.* День, когда мир был сожжен // В мире науки. — 2004. — № 3. — С. 56–63.
- Кулик Л. А.* К вопросу падения тунгусского метеорита 1908 года // ДАН СССР. Сер. А. — 1927. — № 23. — С. 399–402.
- Кулик Л.* Бразильский двойник тунгусского метеорита // Природа и люди. — 1931. — № 13–14. — С. 6–11.
- Курочкин А. А.* Космический убийца // Итоги. — 30 июля 2004 г. — С. 44–45.

- Луцишко Д., Яцкив Я.* Астероидная опасность: миф или реальность // Газета «Зеркало недели. Украина». — 1995. — № 45.
- Макаров О.* Космический гром // Популярная механика. — 2013. — № 4. — С. 92–96.
- Медведев Ю. Д., Свешиников М. Л., Сокольский А. Г. и др.* Астероидно-кометная опасность. — Спб.: ИТА РАН, МИПАО, 1996. — 244 с.
- Милош Г. Дж.* Образование ударных кратеров: геологический процесс. — М.: Мир, 1994. — 336 с.
- Овчинников В. М., Пасечник И. П.* Землетрясение, вызванное взрывом Чулымского болида // Метеоритика. — 1988. — Вып. 47. — С. 10–20.
- Петавев М. И., Гареев Э. З., Стерлитамакское падение* // Природа. — 1992. — № 5. — С. 52–55.
- Писаренко Д.* Прошлипили. Такой метеорит прилетает раз в 100 лет // Аргументы и факты. — 2013. — № 8(1685). — С. 12.
- Подкрался незаметно // Поиск. — 2013. — № 9 (1239). — С. 15.
- После нас хоть потоп // Поиск. — 1997. — № 7(405). — С. 18.
- Прибытие // Поиск. — 2002. — № 45–46 (703–704). — С. 19.
- Пролет астероидов вблизи Земли (Пресс-релиз NASA, март 2009 г.) // Земля и Вселенная. — 2009. — № 4. — С. 99.
- Савельев И.* Роскосмос объявил войну астероидам // Тайны XX века. — 2010. — № 16. — С. 4–5.
- Сихотэ-Алинский железный метеоритный дождь. — М.: Наука, 1959. — Т. 1. — 304 с.; 1963. — Т. 2. — 372с.
- Угроза с неба: рок или случайность? / Под ред. А. А. Боярчука. — М.: Космосинформ, 1999. — 220 с.
- Финкельштейн А. Н., Шор В. А.* В повестке дня — астероидно-кометная опасность // Земля и Вселенная. — 2010. — № 3. — С. 25–37.
- Фортон В. Е., Гнедин Ю. Н., Иванов М. Ф., Ивлев А. В., Кдумов Б. А.* Столкновение кометы Шумейкеров-Леви 9 с Юпитером. Что мы увидели // УФН. — 1996. — Т. 166, № 4. — С. 391–422.
- Цветков В. И.* Сихотэ-Алинский метеорит. // Природа. — 1989. — № 8. — С. 78–85.
- Чернобров В. А.* Энциклопедия загадочных мест России. — М.: Вече, 2007. — 528 с.
- Шевченко И. И.* Непредсказуемые орбиты // Природа. — 2010. — № 4. — С. 12–21.
- Шкала астероидной опасности // Земля и Вселенная. — 2000. — № 2. — С. 93.
- Шувалов В. В., Артемьева Н. А., Трубецкая И. А.* Зоны ударного метаморфизма на дне океанов // Физические процессы в геосферах: их проявление и взаимодействие (геофизика сильных возмущений). — М.: ИДГ РАН, 1999. — С. 314–323.
- Шустов Б. М.* О скоординированном подходе к проблеме астероидно-кометной опасности // Космич. исслед. — 2010. — Т. 48, № 5. — С. 388–401.
- Шустов Б. М., Рыжова Л. В.* Астероидно-кометная опасность: новые подходы // Вестн. РАН. — 2009. — Т. 79, № 7. — С. 579–586.
- Энеев Т. М., Ахмедшин Р. З., Ефимов Г. Б.* К вопросу об астероидной опасности. Препринт ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. — М., 2011. — 40 с.
- Astro bits // The FBAC Observer. — 2003. — V. 11, Issue 10. — P. 8.
- Bailey M. E., Markham D. J., Massai S., Scriven J. E.* The 1930 August 13 «Brazilian Tunguska» event // The Observatory. — 1995. — V. 115. — P. 250–253.
- Chatterjee S., Guven N., Yoshinoby A., Donofrio R.* Shiva structure: a possible KT boundary impact crater on western shelf of India. Special Publication // Museum of Texas Univ. — 2006. — № 50. — 38 p.
- Jacchia L. G.* A meteorite that missed the Earth // Sky & Telescope. — 1974. — № 7. — P. 5–9.
- Kiernan V.* Xmas asteroid skims past Earth // New Scientist. — 1994. — V. 144, № 1956. — P. 11.
- Musser G.* 5 Essential things to do in space // Scientist American. — 2007. — V. 297, № 4. — P. 69–75.
- The third Moon-crossing asteroid // Sky & Telescope. — 1994. — V. 88, № 1. — P. 13.