

Черногор Л.Ф., доктор физ.-мат. наук, профессор, Заслуженный профессор ХНУ имени В.Н. Каразина, академик, лауреат Премии СМ СССР, лауреат Государственной премии УССР в области науки и техники

Часть 1

ЧЕЛЯБИНСКИЙ МЕТЕОРИТ — ПРЕДВЕСТИНИК КОСМИЧЕСКОЙ КАРЫ

Можно считать курьезом, что научное сообщество ревностно изучает далекие галактики и в то же время игнорирует любую возможность серьезного столкновения Земли с космическими объектами.
Ф. Хойл

Велика Вселенная, а отступить некуда. Позади — Земля!

ВМЕСТО ПРОЛОГА

Утром 15 февраля 2013 г. мировые информационные агентства поспешили сообщить сенсационную новость — над Челябинском произошел мощнейший взрыв, пострадали более 7000 зданий, вылетели окна, двери, разрушены перегородки, крыши... Взрывом выбито около 20 тыс. кв. м оконных стекол. Более 1600 человек обратилось за медицинской помощью. Нанесенный ущерб превышал 30 млн долл. США.

Владимир Жириновский авторитетно заявил: «Никаких обломков метеорита на Урале не было... Не метеоры падают, это испытывается новое оружие американцами». Затем он добавил, что с неба «ничего никогда не упадет. Падают — это люди делают. Люди — поджигатели войны, провокаторы».

Сами жители Челябинска подумали разное: что началась война, что-то взорвали террористы, в небе взорвался самолет, самолет сбили ракетой, спикировало НЛО...

Так что же произошло на самом деле? Можно ли было население заранее предупредить о грозящей катастрофе? Как часто случаются подобные катастрофы? Какова их природа? Насколько ужасны их последствия? Можно ли их предотвратить? Что для этого нужно сделать?

Попытаемся ответить на эти непростые и совсем не праздные вопросы.

В настоящей работе описаны общие сведения о космических странниках и примеры бомбардировки Земли из космоса, а также обсуждаются способы и средства защиты планеты от космической угрозы.

О КОСМИЧЕСКИХ СТРАННИКАХ

Метеороиды. Метеоры. Болиды. Замечательному поэту М. Волошину принадлежат следующие строки, отмечающие главное свойство космических тел:

*...Я помню иногда
Ужасный метеор в пустынях мироздания,
Седой кристалл в сверкающей пыли...
.....
О, пыль миров! О, рой священных пчел!
Я исследил, измерил, взвесил, счел,
Дал имена, составил карты, сметы...*

Под метеором понимается явление, возникающее при вторжении небольшого космического тела в атмосферу, и связанные с ним процессы. Само тело именуется метеороидом. Упавший на земную поверхность метеороид называется метеоритом. Достаточно крупные (обычно диаметром 1...10 м) и очень ярко светящиеся метеорные тела вызывают явление, называемое болидом.

Метеороиды могут вторгаться потоками или по одному. В этих случаях говорят о метеорных потоках или спорадических метеорах. Метеорных потоков известно около трех десятков. Поток Леонид — один из самых известных. Он наблюдается ежегодно в конце второй декады ноября.

Размер метеороидов изменяется в широких пределах: от 10^{-5} м до 10 м. Плотность вещества составляет $1...8$ т/м³. Масса метеорных тел находится в пределах $10^{-12}...10^6$ кг, их ско-



Метеорный поток, зафиксированный в штате Колорадо, США, в январе 2013 г.
Фотограф: Jack Jewell

рость — 11...73 км/с. По химическому составу метеориты делят на такие четыре класса:

- железные (плотность 7,7 т/м³);
- железо-каменные (плотность 4,7...5,6 т/м³);
- каменные (плотность 3,5 т/м³);
- углистые хондриты (плотность 2,0...2,5 т/м³).

Около 93,2% метеоритов являются каменными, 5,4% — железными (точнее, железо-никелевыми) и 1,3% — железо-каменными.

Метеорные тела с относительно небольшими размерами и плотностями около 1 т/м³ обычно не достигают поверхности Земли, полностью испаряясь в атмосфере. Это относится, прежде всего, к метеорным потокам и кометному веществу. От них в атмосферу Земли поступает около 40 Кт вещества в год (110...120 тонн в сутки), из которых 0,1...1 кт может приходиться на органические соединения.

Общее число метеорных тел, вторгающихся в атмосферу Земли, примерно обратно пропорционально их массе. Поэтому большие метеориты падают реже, чем мелкие.

Физические процессы в атмосфере при торможении метеорных тел сводятся к сжатию и нагреванию газа до 10 тыс. градусов, генерации ударной волны (так как скорость космического тела значительно превышает скорость звука), оплавлению и разрушению самих метеорных тел, образованию длинного (10...20 км) светящегося следа. Чем больше масса метеорного тела, тем глубже он проникает в атмосферу, мелкие (до 0,1 м) тела сгорают в атмосфере полностью. Чем выше скорость тела, тем больше значения высот, на которых оно начинает тормозиться и угасать соответственно. В зависимости от скорости метеороида торможение имеет место в диапазоне высот 85...120 км, а угасание — 75...95 км.

Метеоры изучают, прежде всего, оптическими методами, а также при помощи метеорных радиолокаторов (радаров). Метеориты как космические тела тщательно изучаются в лабораториях.

Астероиды. К астероидам относят космические тела размером более 10 м. Число астероидов превышает многие сотни тысяч. Их диаметр изменяется от 10 м до 1000 км.

Откуда взялись астероиды? Эти космические тела зародились одновременно с планетами Солнечной системы. Они

представляют собой как бы строительный материал для планеты земного типа, которая из-за возмущающего влияния Юпитера не сформировалась полностью между Марсом и Юпитером на расстоянии около 2,8 астрономических единиц (1 а.е. равна 150 млн км). Эти астероиды входят в состав главного пояса астероидов. Вместе с тем есть космические тела, которые не относятся к главному поясу астероидов. Астероиды представляют собой допланетное вещество. В этом, пожалуй, состоит их главная ценность для науки. Общая масса этих тел не превышает 0,001 массы Земли.

Вблизи Земли астероиды движутся со скоростями 12...20 км/с и обладают гигантским запасом кинетической энергии.

При вторжении в атмосферу космические тела тормозятся в ней, генерируют ударную волну и разрушаются. Существенное торможение имеет место тогда, когда масса вытесненного астероидом

воздуха примерно сравняется с массой метеороида. Масса вытесненного воздуха зависит от угла вхождения астероида в атмосферу. Оказывается, в атмосфере Земли заметно тормозятся и разрушаются лишь космические тела с размером не более 10...100 м, астероид диаметром более 100 м пронизывает ее практически беспрепятственно.

Как показало изучение кратеров на Земле, интервал времени между двумя падениями астероидов примерно пропорционален их энергии. Например, космические тела диаметром около 10 км, способные привести к глобальной катастрофе, падают на Землю в среднем раз в 200 млн лет. Имеются следы падений крупных астероидов на Землю: обнаружено более 100 кратеров — мест падения космических тел. Например, в Кировоградской области (Украина) обнаружен и изучен Болтышский кратер диаметром около 25 км, образовавшийся в результате падения астероида более 100 млн лет назад.

Еще в 1980-х гг. американские геологи, проанализировав карту распределения плотности земной коры в Северной Америке, обнаружили следы гигантского доисторического кратера диаметром около 2800 км. Он простирается от северной части Гудзонова залива до южной части озер Мичиган и Гурон и от канадского Атлантического побережья до провинции Саскачеван. Площадь кратера в 10 раз превышает площадь Украины. Кратер возник около 4 млрд лет назад. Диаметр космического тела, породившего кратер, составлял сотни километров. По видимому, это наибольший из известных кратеров в Солнечной системе. В одном ряду с ним находится кратер на Луне диаметром 2500 км и глубиной 15 км. Он образован около 4 млрд лет назад падением космического тела диаметром примерно 200 км.

Еще более интересным событием представляется падение на Землю астероида диаметром 5...10 км около 65 млн лет назад. Скорее всего, в результате катастрофических последствий этого события вымерли динозавры и существенно изменилась вся биосфера. На смену эре динозавров пришла эра млекопитающих, венцом которых стал человек разумный (*homo sapiens*).

Кометы. В переводе с греческого «комета» — «косматая» (планета). Кометы — космические тела, которые становятся наблюдаемыми при приближении к Солнцу. Комета состоит из плотного ядра небольшого размера, большой разреженной



Ядро кометы Галлея, сфотографированное европейским космическим аппаратом Джотто в 1986 году

Тунгусским метеоритом, а точнее — Тунгусским феноменом. Оно сопровождалось оптическим, акустическим, сейсмическим, геомагнитным и биологическим эффектами. На высоте 6...8 км произошел взрыв, на большой площади был повален и частично сожжен лес. Вспышка света и звук фиксировались на расстоянии 750 км, приборы в г. Потсдаме (Германия) зарегистрировали акустические волны, которые прошли расстояния 5 тыс. км (прямая волна) и 35 тыс. км (обратная волна). Ночное небо в Сибири и Европе было настолько светлым, что можно было читать книгу. Прозрачность атмосферы над США в июле — августе заметно снизилась. В Иркутске (расстояние — 900 км) наблю-

головой и длинного хвоста. Название «космая» появилось именно благодаря наличию хвоста. Его существование связано с давлением солнечного света на пылинки, молекулы газа и ионы, из которых состоит голова космического тела. Поэтому хвост преимущественно направлен от Солнца. Кометы становятся ненаблюдаемыми за пределами орбиты Юпитера. По этой причине число комет неизвестно. Если раньше обнаружение новой кометы было редким событием, то в последнее время ежегодно открывают в среднем 100...200 комет. Их орбиты, как правило, эллиптические (при этом условии движение комет — периодическое), иногда параболические или, возможно, гиперболические. Наиболее известной периодической странницей является комета Галлея с периодом обращения 76 лет. Массы комет чаще всего составляют 10...1000 гигатонн (1 Гт — миллиард тонн).

Размер головы кометы может превышать размер Солнца, хвосты порой имеют длину более 1 а.е., т. е. 150 млн км. Голова и хвост образованы газами и пылью.

Ядро — обычно цельное, а иногда состоит из глыб, камней, песчинок и пылинок, находящихся в обледенелом состоянии. Лед бывает водородного, кислородного, углеродного или азотного происхождения.

Столкновение ядра кометы с Землей приводит к эффектам аналогичным тем, что имеют место при столкновении планеты с астероидами. Пересечение Землей хвостов комет обычно опасности не представляет.

Комета Галлея последний раз приближалась к Земле в 1986 г. К ней было направлено пять космических аппаратов (два из них были сконструированы в СССР). Установлено, что размер ее ядра составляет около 6x10x15 км.

БОЛЬШИЕ ПРОКАЗЫ ТУНГУССКОГО ТЕЛА

О Тунгусском чуде написано много строк. Тайна Тунгусского тела, однако, до конца не разгадана.

Вот что о Тунгусском феномене рассказал очевидец.

«Вдруг очень сильно ударил гром. Это был первый удар. Земля стала дергаться и качаться, сильный ветер ударил в наш чум и повалил его. Тут я увидел страшное диво: лесины падают, хвоя на них горит. Жарко, очень жарко — сгореть можно. Вдруг над горой, где уже упал лес, стало сильно светло, будто второе солнце появилось...»

Что же объективно известно об этом уникальном явлении природы?

30 июня 1908 г. в бассейне Подкаменной Тунгуски (Сибирь) произошло редкое событие, которое позже назвали



Комета Хейла — Боппа (Фото К.И. Чурюмова)

далась сильная сейсмическая волна от взрыва Тунгусского тела. Наконец, вариации геомагнитного поля фиксировались на расстояниях порядка 1 тыс. км и продолжались в течение 1...2 часов. Образцы предположительно вещества Тунгусского тела найдены в 1960–1970-е гг. Масса найденного вещества никак не соответствовала масштабам эффектов, масштабам катастрофы. Отсутствие остатков космического тела является одной из загадок Тунгусского феномена.

Тунгусский взрыв имел такие биологические последствия: в течение многих десятков лет наблюдался эффект ускоренного возобновления роста деревьев; частота мутаций у соснового молодняка увеличилась примерно в 10 раз; отмечалась редкая мутация у коренного населения Эвенкии. Последний эффект, однако, требует дальнейших исследований.

Тщательное исследование и моделирование последствий пролета Тунгусского тела позволило определить его параметры: масса — около 100 Кт, начальная и конечная скорости

Таблица 1. Сведения о наиболее крупных метеоритах (болидах)

Дата падения	Место падения	Начальный размер, м	Высота взрыва, км	Энергия взрыва, кт	Интервал времени между падениями, год
30 июня 1908 г.	Бассейн реки Подкаменная Тунгуска, Россия	50 – 100	6 – 8	Ок. 10000 – 15000	300 – 1000
13 августа 1930 г.	Возле реки Куруса, Бразилия	15 – 58	5 – 10	100 – 5000	50 – 400
12 февраля 1947 г.	Сихотэ-Алиньские горы, Россия	6	15 – 30	10	5
3 августа 1963 г.	1900 км южнее Южной Африки	14 – 18	25 – 30	176 – 356	76 – 290
1 февраля 1994 г.	Косра, Микронезия	8	30	11	6
14 января 1999 г.	Тихий океан	5.2 – 6.8	35	4	2.5 – 3
18 февраля 2000 г.		4.7	35	3	2.5
23 апреля 2001 г.		5 – 6	28 – 29	3.5	2.5 – 3
6 июня 2002 г.	Средиземное море, 230 км севернее Ливии	8 – 9.5	30	12 – 20	7 – 11
4 сентября 2004 г.	Вблизи Антарктиды	8	28 – 30	12	7
7 октября 2008 г.	Судан	3.4 – 4.5	37	0.9 – 2.1	0.7 – 0.9
8 октября 2009 г.	Индонезия	11 – 13	25	31 – 50	16 – 25
22 апреля 2012 г.	Калифорния, США	5.5	30 – 47	4	2.5
15 февраля 2013 г.	Возле Челябинска, Россия	18.5	25	150	65

Примечание: 1 кт = 4.2 ТДж = 4.2 • 10¹² Дж

движения — около 30 км/с и 17 км/с, начальная энергия — порядка 10¹⁸ Дж, плотность вещества 0.5...1 т/м³, энергия взрыва — 5•10¹⁶ Дж (табл. 1). Такая энергия эквивалентна энергии взрыва 12 Мт тротила или энергии 1000 бомб, сброшенных на Хиросиму.

Природа Тунгусского феномена точно не известна. Выдвинуто множество гипотез о его природе.

Первой «гипотезой» было предположение звенков — очевидцев падения космического тела. Наблюдая за наступившей катастрофой, они посчитали, что ее причиной явилось сошествие на Землю бога Агды — железной птицы, изрыгающей огонь.

В 1908 г. французский исследователь Феликс де Руа предположил, что Земля столкнулась с облаком космической пыли. Аналогичную гипотезу в 1932 г. высказал наш соотечественник В.И. Вернадский — основатель и первый президент Академии наук Украины.

В 1927 г. первоисследователь района тунгусской катастрофы Л.А. Кулик считал, «что выпал рой обломков железного метеорита...».

В 1934 г. английский астроном Ф. Уиппл впервые выдвинул гипотезу о кометной природе Тунгусского феномена. Эту гипотезу поддержал советский астроном И.С. Астапович. В последующие годы кометная гипотеза более обстоятельно была разработана академиком В.Г. Фесенковым — выпускником, а затем и сотрудником Харьковского университета.

В 1975 г. В.П. Стулов, под руководством академика Г.И. Петрова, попытался создать математическую модель столкновения ядра кометы с Землей. К сожалению, в ее основу авторы положили тот факт, что плотность вещества кометы была около 10 кг/м³. Астрономам известно, что такие «рыхлые» тела не могут долго существовать в Солнечной системе. Поэтому модель Петрова — Стулова представляет лишь академический интерес.

Еще в январе 1946 г. советский писатель А.П. Казанцев, находясь под впечатлением от атомных взрывов над городами Хиросима и Нагасаки (август 1945 г.), опубликовал научно-фантастический рассказ «Взрыв», где описал атомный взрыв межпланетного космического корабля, якобы потерпевшего катастрофу над Сибирью. Эта идея была подхвачена миллионами читателей-дилетантов и оказалась очень живучей (и сегодня находятся студенты, которые доказывают автору справедливость этой «теории»).

Наиболее правдоподобными гипотезами являются следующие: Тунгусское тело — это комета или астероид. Другие гипотезы предполагают, что Тунгусским телом был сгусток антивещества, черная дыра, взрыв металлического водорода, солнечный плазмод, электрический разряд и др.

Большинство ученых придерживается теории о кометной природе, так как она объясняет почти весь комплекс наблюдавшихся эффектов. Отдельные специалисты считают, что Тунгусское тело было все-таки взорвавшимся в атмосфере астероидом.

Несомненный вклад в объяснение природы Тунгусского феномена внесли К.П. Станюкович и В.П. Шалимов, ко-

торые еще в 1961 г. пришли к выводу, что причиной катастрофы был тепловой взрыв, связанный с переходом кинетической энергии космического тела в тепловую, а также М.А. Цикулин, предложивший в 1960 г. гипотезу о прогрессивном разрушении Тунгусского тела. Последняя гипотеза была существенно развита в 1970 — 1980 гг. в работах С.С. Григоряна и В.А. Бронштэна.

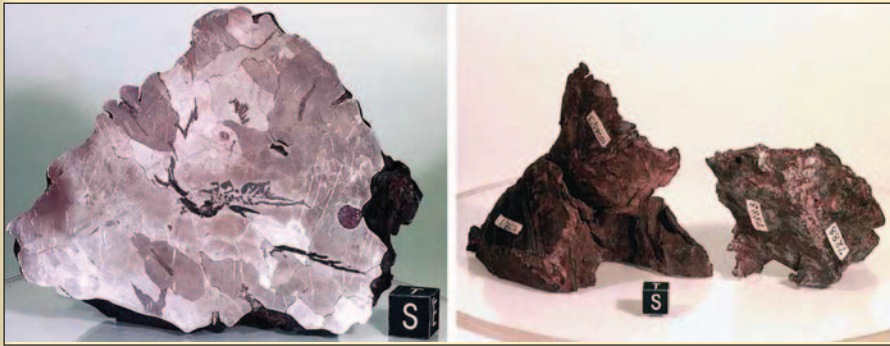
Остальные из перечисленных гипотез оказались недостаточно обоснованными.

Есть и геофизические гипотезы. Они сводятся к тому, что Тунгусский феномен — специфическое землетрясение, извержение вулкана, взрыв природного газа или водородно-кислородной смеси, гигантская шаровая молния.

Есть также фантастические предположения, но они не выдерживают никакой критики. Всего же известно более 120 «гипотез».

Фактом остается то, что в июне 1908 г. произошло событие, которое могло круто изменить историю нашей цивилизации. В атмосферу Земли на большой скорости врезалось космическое тело огромных размеров. Не долетев до поверхности Земли, оно взорвалось в нижней атмосфере. Взрывная волна вывалила лес на площади более 2 тыс. кв. км. Сгорело около 250 кв. км тайги. Запоздай космическое тело, получившее название Тунгусского метеорита, на пять часов (на мгновение по космическим масштабам), взрыв произошел бы над Санкт-Петербургом — столицей Российской империи. Погибли бы около 2 млн человек. Скорее всего, погибла бы царская фамилия, правительство, чиновники и т.д. Случись это, разразилась бы Первая мировая война? Грянула бы Октябрьская революция? Появился бы Советский Союз? Развязали бы Вторую мировую войну? Кто бы стал победителем?

Риторические вопросы можно задавать и далее. А ответ один. Произойди эта катастрофа над российской столицей, скорее всего, история мировой цивилизации пошла бы по дру-



Фрагменты обломков Сихотэ-Алинского метеорита

гому пути. Как говорят физики, а за ними и философы, историческая линия испытала бы бифуркацию, т. е. раздвоение, приводящее к качественным изменениям.

Может показаться, что тела, подобные Тунгусскому, слишком редко угрожают человечеству и о них можно не думать. Но это не так. К примеру, 10 августа 1972 г. над США и Канадой со скоростью 15 км/с пронесся астероид диаметром около 80 м. Энергия взрыва была бы эквивалентна 100 Мт (8 тыс. «Хиросим»). Только по счастливой случайности, пролетев над поверхностью Земли 1500 км, астероид вылетел за пределы атмосферы и ушел в космос. Упав на Землю, он вызвал бы разрушения и пожары на площади около 5 тыс км². При этом число жертв могло составить 0,3...10 млн человек.

Другие примеры упавших на Землю космических тел приведены в табл. 1.

БОЛЬШИЕ ПРОКАЗЫ БРАЗИЛЬСКОГО ДВОЙНИКА ТУНГУССКОГО ТЕЛА

13 августа 1930 г. над непроходимыми джунглями в верховьях реки Куруса (Бразилия) взорвался метеорит, подобный Тунгусскому. По оценкам, высота взрыва составила 5...10 км, площадь вывала деревьев и пожаров достигла сотен квадратных километров. К счастью, все это произошло в безлюдном месте. Отзвуки взрыва были слышны за сотни километров от места катастрофы. Метеорит получил название Бразильского.

Вот что поведал миру об этом происшествии Ф. де Авиано.

«Внезапно, около восьми часов утра, солнце сделалось кроваво-красным, и кругом распространилась тьма. На растительность посыпались красноватая пыль и пепел. Послышался звук, исходивший сверху и напоминавший свист при пролете артиллерийских снарядов. Звук усиливался, пугая всех. Те, кто не боялся взглянуть на небо, увидели огромные огненные шары, падавшие с неба, подобно разрядам молнии. Они упали в центре леса, причем были слышны три удара, похожие на раскаты грома, сопровождавшиеся сотрясением земли. Взрывы слышались в близлежащих населенных пунктах ... Народ (не

видевший полета болидов) решил, что ... ведутся испытания новых орудий и бомб. Некоторые решили даже, что началась война между Бразилией и Перу».

Изучение места падения началось лишь в июне 1997 г. Осколков метеорита найти не удалось.

ЖЕЛЕЗНЫЙ ГРАД СИХОТЭ-АЛИНСКОГО МЕТЕОРИТА

Падение этого метеорита так описал российский ученый Е.Л. Кринов.

«В тихое и морозное, почти совершенно безоблачное утро 12 февраля 1947 г. в 10 ч 38 мин по местному декретному времени при полном солнечном освещении на небе появился болид. Сначала он имел вид яркой звезды, но затем быстро превратился в ослепительный яркий огненный шар, вскоре принявший несколько вытянутую форму. Болид стремительно пронесся по небесному своду в направлении приблизительно с севера на юг, оставляя позади себя клубящийся пылевой след из продук-

тов разрушения метеорного тела. Болид скрылся за сопками где-то в западных отрогах Сихотэ-Алиня. Во время движения болид дробился, в результате чего на последнем участке его видимой траектории наблюдался рой отдельных частей. Через несколько минут после исчезновения световых явлений раздались сильные удары, похожие на взрывы или стрельбу из тяжелых орудий. За ударами последовал грохот, а затем гул, далеко прокатившийся по тайге и многократно повторенный эхом в отрогах хребта. След, оставшийся на небесном своде после полета болида, в виде гигантской «дымной» полосы был виден в течение всего дня. Он постепенно искривлялся из-за сильных воздушных течений, господствующих в верхних слоях земной атмосферы. Вследствие того, что воздушные течения на разных высотах направлены в разные стороны, след принял зигзагообразную форму. Он, словно сказочный исполинский змей, распростерся на небесном своде. Постепенно слабея и разрываясь на клочья, след исчез только к вечеру... Полет болида продолжался не более 4-5 секунд. Болид наблюдался над территорией радиусом свыше 300 км, а звуковые явления были слышны на еще большем расстоянии от места падения метеоритного дождя.

...При падении метеоритного дождя распахивались двери, вылетали из окон стекла, осыпалась с потолков штукатурка, выбивалось из топившихся печей пламя, вылетала зола с голловешками.

Падение метеоритного дождя вызвало панический страх и у животных. Лошади ржали, коровы мычали; они срывались с привязей и в сильном испуге металась во все стороны. Собаки с визгом и лаем забивались под укрытия или убежали из селений в лес».

Этот метеорит относится к крупнейшим. Его диаметр был примерно равен 6 м, начальная масса — почти 1000 т, скорость вхождения в атмосферу — 15 км/с и энергия — порядка 10 ТДж (1 ТДж — миллион миллионов Дж). Масса найденных осколков превысила 27 т. Почти столько же вещества было рассеяно в тайге.

Частота падения метеоритов размеров, подобным описываемому, составляет 1 раз в 5 лет.

Сихотэ-Алинский метеорит относился к железным. Поэ-

Таблица 2. Основные параметры Витимского болида (24 сентября 2002 г.), зафиксированные приборами и вычисленные автором

Параметр	Значение	Примечание
Угол наклона к горизонту	30°	Вычислен на основе свидетельств очевидцев и по данным геостационарного спутника
Высота взрыва	около 30 км	Косвенно по данным геостационарного спутника
Начальная скорость	около 20 км/с	Задана
Начальная масса	50 т	Вычислена по кинетической энергии
Максимальная интенсивность оптического излучения	3×10^{12} Вт	Пересчитана по удельной интенсивности
Эффективная длительность оптического излучения	0,7 с	Вычислена из траекторных данных
Энергия оптического излучения	10^{12} Дж	Вычислена по интенсивности оптического излучения
Начальная кинетическая энергия	около 10^{13} Дж	Вычислена по энергии оптического излучения
Энергия внутренних гравитационных волн в атмосфере	около 5×10^{11} Дж	Вычислена теоретически
Энергия акустического излучения	около 10^{11} Дж	То же

Примечание: внутренние гравитационные волны — низкочастотный аналог акустических волн, у которых возвращающей силой является сила гравитации

тому явление назвали выпадением железного дождя. Точнее, надо было бы сказать о выпадении железного града или даже железных глыб. Крупные обломки образовали более сотни кратеров и воронок.

Падение Сихотэ-Алинского метеорита не привело к человеческим жертвам. Но так бывает не всегда. За письменную историю человечества многократно отмечались события, когда число жертв составляло единицы, десятки и даже сотни человек. Особенно «кроважатым» было падение метеорита в 1490 г. в Китае. При этом погибло до 10 тыс. человек.

МАЛЕНЬКИЕ ПРОКАЗЫ ВИТИМСКОГО БОЛИДА

Пролет болида над северо-восточной частью Иркутской области (Сибирь) был зафиксирован оптическими и инфракрасными датчиками геостационарной системы контроля космического пространства США 24 сентября 2002 г. Болид был обнаружен на высоте около 62 км, его пролет фиксировался до высоты примерно 30 км.

Полет космического тела закончился взрывом. Ему предшествовали нагрев, абляция и дробление метеороида.

Пролет тела вызвал яркое свечение (от белого до красного, а затем бордового), сильный гул, взрыв, генерацию ударной волны, повреждение леса на отдельных участках в зоне шириной 5-7 км и длиной около 50 км вдоль трассы падения. На отдельных участках доля сломанных деревьев достигала 10-15%, на других — не превышала 5%.

По сейсмическим данным оценена высота (27 км) и координаты разрушения болида, а по инфразвуковым данным — начальная энергия (около 10 ТДж) и размеры облака обломков болида (8...9 м).

Добавим, что анализировались сейсмические сигналы станций, удаленных от эпицентра взрыва на расстояния 140...280 км, и инфразвуковые сигналы станций, удаленных на расстояния 2000...4400 км.

Основные параметры болида, вычисленные автором на ос-

нове данных, полученных на американском спутнике и свидетельств очевидцев, приведены в табл. 2.

Вот какими были впечатления свидетеля пролета болида С.А. Палашова, находящегося на расстоянии около 50 км от траектории тела: «В 1 час 45 минут выходил на улицу. Было облачно. Вернулся в дом, сел на койку, увидел в окно яркую вспышку. Вспышка белого цвета, смотреть больно. Все небо ровно светилось, было светло как днем. Освещение можно сравнить со сваркой, только она отдает синим цветом, а тут был чисто белый цвет. Свечение продолжалось секунды три. Потом прошло секунд пять, раздался гром (взрыв) — два разряда, промежутки 1 — 2 секунды. Дом трянуло. Удар был глухой, но громкий».

Свидетель Е.С. Ярыгин находился на расстоянии около 10 км от проекции на поверхность земли траектории болида. Он сообщил следующее: «Было видно, как из-за гор на юго-востоке стало подниматься яркое полусферическое свечение. Свет белый, как у сварки, поднимался вверх, а затем стал переходить в красный и бордовый. Были видны «лучики» над поднимающейся полусферой. Свечение залило все небо. Свет был ровный, сплошной, никаких летящих предметов не было видно. Затем все стало затухать и погасло. Секунд через тридцать раздался хлесткий удар, взрыв, хлопок был очень резкий. В доме посыпалась штукатурка, все задвигалось, заходило. Еще до появления свечения возник далекий звук, похожий на гул самолета. Звук шел оттуда, что и свечение, а удар — с противоположной стороны, куда ушло свечение».

Добавим, что болиды, подобные Витимскому, вторгаются в атмосферу Земли со средней частотой 1 раз в год. Можно только радоваться, что взрывы таких болидов происходили пока над малонаселенными (или необитаемыми) регионами.

(окончание следует)



Литература

- Алимов Р.В., Дмитриев Е.В. Противоастероидная защита Земли // Природа. — 1995. — № 6. — С. 94 — 101.
- Микиша А.М. Столкновение небесного тела с Землей. Предотвращение катастрофы // Земля и Вселенная. — 1995. — № 4. — С. 21 — 29.
- Чурюмов К.И. Катастрофа на Юпитере 1994 года // Земля и Вселенная. — 1996. — № 1. — С. 12 — 28.
- Плотников П.В., Шуршалов Л.В. Чем чреват град из космоса? // Природа. — 2001. — № 5. — С. 11 — 18.
- Зайцев А.В. Защита Земли от астероидно-кометной опасности // Земля и Вселенная. — 2003. — № 2. — С. 17 — 27.
- Язев С.А., Антипин В.С. По следам Витимского болида // Земля и Вселенная. — 2004. — № 5. — С. 59 — 72.
- Васильев Н.В. Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908 г. — М.: Русская панорама, 2004. — 372 с.
- Катастрофические воздействия космических тел / Под ред. В.В. Адушкина и И.В. Немчинова. ИДГ РАН. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. — 310 с.
- Всероссийская конференция «Астероидно-кометная опасность — 2005» (АКО — 2005). Материалы конференции. СПб.: ИПА РАН, 2005.
- Черногор Л.Ф. Естественное знание. Интегрирующий курс. — Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2007. — 536 с.
- Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / Под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыхловой. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 384 с.
- Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф. — Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. — 556 с.

Черногор Л.Ф., доктор физ.-мат. наук, профессор, Заслуженный профессор ХНУ имени В.Н. Каразина, академик, лауреат Премии СМ СССР, лауреат Государственной премии УССР в области науки и техники

Часть 2

ЧЕЛЯБИНСКИЙ МЕТЕОРИТ — ПРЕДВЕСТИК КОСМИЧЕСКОЙ КАРЫ

СОВСЕМ НЕ МАЛЕНЬКИЕ ПРОКАЗЫ ЧЕЛЯБИНСКОГО МИНИ-АСТЕРОИДА

«Морозное утро 15 февраля 2013 г. Около половины десятого утра. Можно сказать, час пик. Многочисленные жители куда-то спешат. Спешил и я. Что-то привлекло мое внимание. Необычайное потрескивание, шуршание, скрежет, гул... И вдруг низко над горизонтом появился огненный след. Он закончился ослепительной вспышкой, которая была намного ярче Солнца. Сразу вспомнилась служба в Советской Армии, команда «Вспышка слева, всем укрыться!» Молнией пронеслись в голове институтские занятия по курсу «Гражданская оборона». Да, это высотный ядерный взрыв. Похоже, мегатонного класса. Сейчас придет ударная волна. Несмотря на мой почтенный возраст, я не раздумывая плюхнулся в глубокий сугроб на обочине и накрыл голову руками (как учили в институте на военной кафедре). И не напрасно. Вскоре все трянуло, воздух на какие-то мгновения оказался похожим на навалившуюся морскую волну во время шторма, земля задрожала, зазвенели разбитые окна, раздались душераздирающие крики. Подняв голову, я увидел, что в соседних домах зияли пустотой окна, как в фильмах про войну... Женщина рыдала, лицо и руки ее были в крови... Люди в панике бежали по улице в противоположных направлениях. Я шел дальше, улавливая отдельные слова: «Война, террористы, бомбардировка, самолет, взрыв...» Мне попадались раненые люди... Шел и соображал, что же произошло. Если взрыв термоядерный, выпадут радиоактивные осадки. И на огромной площади... И тут я вспомнил, что вспышка была не точечная, а протяженная. Для взрыва ракеты вспышка была слишком сильной, для самолета тем более... Это похоже на падение метеорита. Неужели новый Тунгусский метеорит? Нет, там был вывал леса на огромных площадях, сильные пожары... Значит, упало что-то поменьше... Взрыв самолета? Ракеты? Нет. Скорее всего, падение крупного метеорита. Чуть позже, включив телевизор, я узнал правду о Челябинской трагедии».

Вот так описал свои первые впечатления житель г. Челябинска.

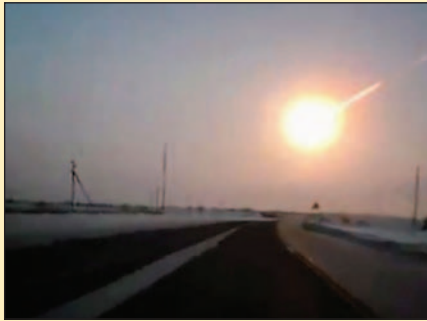
Как оказалось, виновником катастрофы был метеорит массой в 11 тыс. т, вторгшийся в атмосферу со скоростью 18.5 км/с, примерно под углом в 20° к горизонту.

Падение Челябинского метеороида обнаружили слишком поздно, когда он уже подлетал к Челябинской области. Обнаружили метеороид по интенсивному свечению следа, который он оставил на высотах 90...20 км. И совсем не астрономы, которым, казалось бы, по долгу службы следует обнаруживать подобные космические тела.

Еще в период холодной войны в США и СССР разрабатывались системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН), системы обнаружения ядерных взрывов (СОЯВ) во всех средах. Для этого использовались системы как наземного, так и космического базирования, в том числе и размещенные на геостационарных ИСЗ. Так вот, один из таких спутников, принадлежавший США, обнаружил пролет Челябинского метеороида, закончившийся взрывом. По энергии свечения космического тела была оценена его начальная кинетическая энергия, масса и размеры (см. табл. 3). Кроме того, воздушный взрыв зафиксирован наземными инфразвуковыми датчиками как в России, так и в США. Известно, что инфразвуковые волны распространяются в атмосфере, слабо затухая, на расстоянии в тысячи — десятки тысяч километров. Так, взрыв Челябинского тела, например, был зарегистрирован на Аляске, т.е. на расстоянии более 6500 км от места катастрофы. По энергии акустических волн также была оценена энергия взрыва метеорита.

Факт взрыва зарегистрирован многочисленными сейсмографами, которые дали информацию о силе землетрясения (магнитуда от 3 до 4), вызванного воздушным взрывом. Это также позволило оценить энергию взрыва, а значит и степень повреждения построек вдоль траектории полета космического тела.

Оказалось, что энергия взрыва была эквивалентна взрыву



Эффекты при падении Челябинского метеорита:
след метеорита; огненный шар от взрыва метеорита; падение фрагмента метеорита на здание; пример разрушений

35 ядерных бомб, сброшенных в августе 1945 г. на японский город Хиросима. К счастью, взрывоподобное выделение энергии произошло на высоте около 25 км. Это спасло жителей Челябинской области от неминуемой смерти, сильнейших разрушений и пожаров. Из-за энергонасыщенности области эффект взрыва мог быть многократно усилен. Достаточно сказать, что вблизи места катастрофы расположен завод по производству боевого плутония, используемого при изготовлении ядерного (термоядерного) оружия. Радиус разрушающего действия ударной волны составил около 50 км.

Пролет и взрыв Челябинского метеорита сопровождался целым комплексом эффектов. Через нагретый след вверх с огромной скоростью (2...7 км/с) устремились продукты взрыва, которые поднялись на высоту в сотни километров. Образовался так называемый плюм. Вместе с действием ударной волны это привело к возникновению вторичных эффектов в геомагнитном поле, ионосфере и геокосмосе. Во все стороны стали распространяться электромагнитные, магнитогидродинамические и акустико-гравитационные волны. Их проявления обнаружены автором над г. Харьковом и даже в Западной Европе, т.е. на расстояниях в 2-3 тыс. км от места падения метеорита. Возмущение магнитного поля достигало 5-10 нТл, что наблюдается при магнитных бурях средней интенсивности. Концентрация электронов в ионосфере также возмущалась на десятки — сотни процентов на расстояниях от места взрыва в 1000-100 км соответственно.

Температура газа при взрыве увеличилась до нескольких десятков тысяч градусов. Область взрыва была в десятки раз ярче Солнца. Даже спустя часы после взрыва температура следа оставалась на 10-100 градусов выше температуры окружающей среды, что и обнаружил китайский метеоспутник.

Пролет метеорита также сопровождался электрическим эффектом. Напряженность электрического поля вокруг тела увеличилась до 1 МВ/м, что было достаточно для пробоя атмосферы, т.е. возникновения слабых молниевых разрядов.

Электрические процессы сопровождались так называемыми электрофонными звуками, наводившими ужас на людей.

Остатки метеорита упали в озеро Чебаркуль и рассеялись вокруг этого озера. При взрыве произошло дробление космического тела на части с размерами от 1 дм до единиц микрометра. Фрагменты с размерами от 1 дм до 1 мм упали на землю за время 1...2 мин. Зато частицы с размерами 0.01...0.1 мм опускались к земле в течение нескольких часов и даже нескольких суток. За это время ветер их отнес на расстояние до 1000 км.

Можно ли было предотвратить удар по Челябинской области? Или хотя бы смягчить его последствия? Это совсем не простые вопросы.

Чтобы предупредить об ударе из космоса — надо было знать о существовании этого космического тела, иметь полную информацию о параметрах его орбиты. В настоящее время составлены каталоги для астероидов крупнее 1 км, которые могут угрожать Земле. Поставлена задача — создать каталоги опасных тел крупнее 140 м. Эта задача будет решаться десятки лет. Дело в том, что с уменьшением размера тела всего в два раза число таких тел увеличивается примерно в 10 раз. Так что если число километровых тел порядка миллиона, то стометровых уже —

миллиард, а двадцатиметровых (как Челябинский метеорит) — около ста миллиардов. Число и впрямь астрономическое. Ежегодно каталог астероидов пополняется примерно 25 тысячами новых астероидов. Если пополнение будет идти такими же темпами, то для каталогизации астероидов двадцатиметрового диапазона потребуется 4 млн лет! Будет ли к тому времени существовать земная цивилизация? Конечно, число астероидов, угрожающих столкновением с Землей, существенно меньше, а значит, и время каталогизации будет меньше.

Нужно идти по другому пути. По пути оперативного обнаружения угрожающего Земле космического тела. Объект с размерами Челябинского тела астрономическими средствами мог быть обнаружен на расстоянии в 1 млн км. При скорости его движения около 20 км/с время до падения составляет около 14 часов. Максимальная дальность обнаружения указанного тела космическими радарными средствами примерно в 10 раз меньше. Так что в запасе у человечества всего 1.4...14 часов. После оперативного уточнения места падения метеорита останетсь не более 1...10 часов. Этого может быть достаточно, чтобы спрятаться в защищенном месте, остановить опасные производства, обесточить электросеть и т.п.

В случае Челябинского метеорита никакого оповещения не было, бомбардировка из космоса была полной неожиданностью. Почему это произошло? Глобальной сети раннего обнаружения космических объектов декаметрового размера просто не существует. Астероиды и кометы значительно больших размеров и то, как правило, открывают случайно. В настоящее время в мире существует несколько специализированных служб, перед которыми стоит задача обнаружения достаточно крупных астероидов и комет. Есть соответствующие средства и в Украине (Симеиз), и в России (Звенигород). Большинство средств принадлежит США, западноевропейским странам и Китаю. Но даже если бы оптические телескопы были нацелены в сторону подлетающего метеорита, именно его нельзя было своевременно обнаружить из-за того, что он летел со стороны

Таблица 3. Основные параметры Челябинского болида (15 февраля 2013 г.), зафиксированные приборами и вычисленные автором

Параметр	Значение	Примечание
Угол наклона к горизонту	20°	Вычислен на основе свидетельств очевидцев и по данным геостационарного спутника
Высота взрыва	около 25 км	Косвенно по данным геостационарного спутника
Начальная скорость	около 18,5 км/с	Задана
Начальная масса	11 кт	Вычислена по кинетической энергии
Максимальная интенсивность оптического излучения	3×10^{14} Вт	Пересчитана по удельной интенсивности
Эффективная длительность оптического излучения	1,2 с	Вычислена из траекторных данных
Энергия оптического излучения	около 4×10^{14} Дж	Вычислена по интенсивности оптического излучения
Начальная кинетическая энергия	около 2×10^{15} Дж	Вычислена по энергии оптического излучения
Энергия внутренних гравитационных волн в атмосфере	около 2×10^{13} Дж	Вычислена теоретически
Энергия акустического излучения	около 10^{14} Дж	То же

Солнца. Это значит, что телескопы были бы ослеплены светом. Иное дело космические радары. Их очень немного. И они решают другие, совсем не научные задачи. По-прежнему, как во времена холодной войны, они нацелены на обнаружение стартов и полетов ракет предполагаемого противника... В этом смысле жители Челябинской области были обречены. На их месте могли оказаться и любые другие.

А как повели себя жители области? Яркая вспышка от взрыва вызвала любопытство. Находившиеся в помещениях свидетели события прильнули к окнам. Это сослужило плохую службу. Докатившаяся через 1...3 мин взрывная волна обрушилась на город Челябинск и область. От нее пострадали, прежде всего, оконные стекла, которые и травмировали сотни и сотни людей, включая детей.

Только одна учительница г. Челябинска Ю. Карбышева поступила профессионально. Увидев вспышку, она дала команду детям укрыться под партами. Никто из учеников этого класса от взрыва не пострадал, чего нельзя сказать о детях из других классов.

Силы Уральского регионального центра МЧС были приведены в режим повышенной готовности, было задействовано 20 тыс. спасателей. В ряде районов был введен режим чрезвычайных ситуаций. Работало 135 аварийно-спасательных бригад. Систематически проводился мониторинг химической и радиационной обстановки. Специалисты оказывали психологическую помощь пострадавшим.

Отдельные представители власти в России высказались за то, что необходимо разработать систему защиты землян от подобных катастроф в будущем. Ученые же об этом твердили более двадцати лет, но их никто не слышал. Недаром народная мудрость гласит: «Пока гром не грянет, мужик не перекрестится».

КОСМИЧЕСКАЯ БОМБАРДИРОВКА ЮПИТЕРА

В июле 1994 г. астрономы стали свидетелями продолжительной (около недели) бомбардировки Юпитера обломками кометы Шумейкеров — Леви 9. Самый большой осколок имел диаметр 2,9 км, наименьший — 0,46 км. Им соответствовали объемы около 10 и 0,05 км³, массы — 10 и 0,05 Гт (при плотности вещества равной 1 т/м³) и кинетические энергии $2,5 \times 10^{22}$ и 10^{20} Дж. Наибольшая энергия превышала на-

чальную энергию Тунгусского тела в 25 тыс. раз, наименьшая — в 100 раз. Первоначальный размер космического тела был близок к 10 км, а его кинетическая энергия — к 10^{24} Дж (эта энергия в миллион раз превышала энергию Тунгусского тела). Поскольку и наша планета не застрахована от подобных бомбардировок, эффекты, вызванные бомбардировкой Юпитера, следует рассмотреть несколько подробнее.

Падение 20 обломков космического тела («кометного поезда» — так окрестили его астрономы) на Юпитер представляло собой уникальный эксперимент, поставленный природой 16 — 22 июля 1994 г. По существу, имело место растянутое по времени высотно-широтное зондирование Юпитера.

Падение каждого обломка сопровождалось взрывоподобным преобразование кинетической энергии «кометного вагона» в тепловую и световую энергии.

В энергию световой вспышки переходило 0,1-1% кинетической энергии тела. Мощность вспышки составляла около $10^{18} \dots 10^{20}$ Вт. Для сравнения укажем, что человечество потребляет мощность порядка 10^{13} Вт.

Горячие продукты взрыва, имеющие температуру в несколько десятков тысяч градусов, образовывали «огненный плюм» («огненное оперение»), представляющий собой высокоскоростной выброс продуктов взрыва. Высота «плюма» достигала 3 тыс. км над верхним слоем облаков.

Взрывы обломков космического тела вызвали полярные сияния в атмосфере Юпитера, значительное увеличение яркости так называемых радиационных поясов Юпитера (поясов, образованных захваченными магнитным полем планеты высокоэнергичными частицами) и другие эффекты.

Кроме того, в атмосфере Юпитера возникли долгоживущие вихревые образования, своеобразные циклоны, имеющие солитоноподобную природу. Диаметр наибольшего из них достигал 10 тыс. км (а это близко к диаметру Земли). Уже вечером 17 июля 1994 г. любители астрономии в обыкновенные бинокли или при помощи простейших телескопов наблюдали огромные темные пятна в южном полушарии Юпитера.

Любопытно, что природный долгоживущий вихрь в атмосфере Юпитера, называемый Большим Красным Пятном и открытый еще Г. Галилеем, ничуть не «пострадал» в процессе космической бомбардировки.

Много сюрпризов преподнесла бомбардировка Юпитера обломками космического тела. Некоторые астрономы даже не уверены, что обломками были части кометы. Анализ спектров излучения показал, что в обломках отсутствовали такие молекулы, как CN, C₂ и H₂O. А это наводит на мысль, что космическое тело могло иметь астероидное происхождение.

ЧЕГО СЛЕДУЕТ ЖДАТЬ ОТ АТАКИ ЗЕМЛИ АСТЕРОИДАМИ И КОМЕТАМИ?

Бомбардировка Земли астероидами. Перечень наиболее массивных астероидов приведен в табл. 4. И хотя самые крупные из них обладают гигантскими энергиями (10^{26} - 10^{30} Дж), они не представляют угрозы для нашей планеты, так как их траектории удалены от Земли. Более мелкие астероиды (Эрос, Тутаис, Икар, Касталия) способны приближаться к Земле.

В последние десять — пятнадцать лет астрономы обнаружили большое количество малых космических тел, орбиты кото-

Таблица 4. Некоторые характерные астероиды

Название	Год открытия	Масса, кг	Размер, км	Большая полуось орбиты, а. е.	Примечание
Церера	1801	1021	974	2,8	Крупнейшие астероиды
Паллада	1802	2,5·10 ²⁰	528	2,8	
Веста	1807	3·10 ²⁰	526	2,4	
Юнона	1804	2·10 ¹⁹	268	2,7	
Матильда	1885	2·10 ¹⁷	61	2,6	Изображение астероидов получено при помощи космических аппаратов
Ида	1884	10 ¹⁷	58x23	2,9	
Гаспра	1916	10 ¹⁶	19x12x11	2,2	Сближается с Землей
Эрос	1898	5·10 ¹⁵	41x15x14	1,5	
Тутатис	1989	5·10 ¹³	4,6x2,4x2	0,9	Сближается с Землей
Икар	1949	10 ¹²	1,4	1,1	Пересекает орбиту Земли
Касталия	1989	5·10 ¹¹	1,8x0,8	0,6	Сближается с Землей

Примечание: а.е. — астрономическая единица (около 150 млн км)

рых проходят вблизи орбиты Земли (табл. 5). Они представляют большую опасность, так как их орбиты проходят значительно ближе к Земле, чем орбиты крупнейших астероидов. Диаметр этих космических тел не превышает нескольких единиц километров. Ученые США, России, Украины и других стран всерьез обсуждают возможность предотвращения столкновения Земли с этими объектами. Для этого может пригодиться как ракетно-ядерное оружие, так и космическое оружие, разрабатываемое для так называемых «звездных войн».

Пролет в атмосфере и столкновение с Землей крупного космического тела сопровождается целым комплексом физических процессов: мощнейшим взрывом, землетрясением, генерацией мощного светового импульса и сильной воздушной ударной волны, образованием плазменного факела («плюма»), выбросом в атмосферу плазмы, пыли и другими процессами. При падении тела в океан (в море) возникают гигантские океанические волны и цунами.

При высоких температурах идут химические реакции, приводящие к образованию закиси азота NO. Последняя, вступая в реакцию с озоном, способна уничтожить защитный озоновый слой. Кроме того, NO и NO₂ при взаимодействии с водой образуют азотную и азотистую кислоты, которые выпадут на Землю вместе с дождями.

Световое излучение неизбежно приведет к первичным крупномасштабным пожарам. Воздушная ударная волна вызовет невиданные разрушения на значительных удалениях от космического тела.

Энергетические параметры световой вспышки, площади зон разрушений взрывной волной, а также относительные площади разрушений приведены в табл. 6.

Следует иметь в виду, что разрушения обычно сопровождаются вторичными пожарами и взрывами горючих материалов. Размер зоны вторичных пожаров близок размерам зоны разрушения. Как видно из табл. 6, при диаметре астероида больше 50 км процессы пожаров и разрушений примут глобальный характер. При падении астероида размером 1–3 км площадь разрушения сопоставима с площадью континента. При меньших размерах небесного тела катастрофа имеет региональный характер.

Пожары приводят к выбросу больших масс вредных химических веществ, в том

числе и окислов серы, углерода и азота. Окислы, вступая в реакции с водой, образуют кислоты, выпадающие на Землю в виде кислотных дождей.

Ударяясь с огромной скоростью о грунт планеты, тело проникает в него на глубину, примерно равную диаметру астероида (тела). Скорость и кинетическая энергия астероида уменьшаются до 3 – 4 км/с и на порядок соответственно. Оставшаяся энергия идет на образование воронки диаметром, раз в десять превышающем диаметр астероида, и на выброс пыли в атмосферу.

Важно, что масса раздробленного вещества в десятки раз превышает массу космического тела. Масса выброшенной пыли близка к массе астероида, в том числе масса пылинок с размером менее одного миллиметра составляет десятки процентов. Это приводит к значительному запылению атмосферы, резкому уменьшению доли солнечной энергии, поступающей на поверхность планеты, и возникновению «астероидной» зимы.

Добавим, что пожары сопровождаются выбросом сажи, эффективно поглощающей солнечное излучение и усиливающей эффект «астероидной» зимы.

В результате такой зимы температура воздуха понижается на единицы — десятки градусов, и это может продолжаться от нескольких недель до многих лет в зависимости от энергии астероида. Дело в том, что пыль выбрасывается на большие высоты (10 – 100 км и выше), а оседает она очень медленно (со скоростью 10⁻⁷ – 10⁻³ м/с).

Заметим, что «астероидная» зима наступит не сразу, а через много часов или даже суток после столкновения. Сначала температура атмосферы должна увеличиться, так как значительная часть кинетической энергии переходит в энергию ударной волны, а она вызывает нагрев атмосферы.

Результаты оценок нагрева атмосферы и других параметров приведены в табл. 7.

При проведении расчетов предполагалось, что космическое тело имеет форму шара; плотности земного грунта и вещества тела примерно одинаковы. В скобках указаны эффекты мелкой пыли (размер менее 10⁻⁸ – 10⁻⁶ м), которая задерживается в стратосфере на длительное время и рассеивает солнечное излучение.

Теоретически, падение температуры суши в ходе «астероидной» зимы может достигать примерно 50 градусов. Реально величина уменьшения температуры будет почти в три раза меньше, так как воздух над океаном практически не охлаждается из-за большой теплоемкости последнего.

Анализ табл. 7 позволяет утверждать, что столкновение Земли с космическим телом диаметром более нескольких



Последовательные стадии падения обломков кометы Шумейкеров — Леви 9 на Юпитер 16 — 22 июля 1994 г. (модель)

километров будет иметь для нее непоправимые последствия. Скорее всего, биосфера безвозвратно погибнет, не выдержав сначала жары, а затем сильного и продолжительного похолодания («астероидной» зимы). При меньших размерах космических тел последствия для Земли — катастрофические, но не необратимые.

Вероятность столкновения космического тела с Землей очень мала. Еще меньше вероятность падения тела на крупный город, например, с населением 1 млн человек и площадью около 1000 км². Результаты оценки последней вероятности приведены также в табл. 5. Ее величина — очень мала, но степень риска погибнуть в течение жизни от падения астероида весьма значительна для жителей крупного города (табл. 8). Степень риска оказалась такой высокой потому, что она является производением вероятности падения космического тела на крупный город на среднее число жертв. Последняя величина определяется средней плотностью населения и площадью разрушений, которая увеличивается с ростом размера астероида (см. табл. 6).

Бомбардировка Земли кометами. В принципиальном плане эффекты падения ядер комет мало чем отличаются от эффектов, сопровождающих падения астероидов. Конечно, следует иметь в виду, что плотность кометного вещества составляет 0,5 — 1 т/м³, а плотность астероидального вещества изменяется в пределах 3 — 8 т/м³. Кроме того, относительная скорость астероидов находится в пределах 11 — 30 км/с. Относительная скорость комет может достигать 70 км/с. И плотность вещества, и относительная скорость определяет кинетическую энергию космического тела, энергию взрыва и энергетику всех последующих процессов.

При прочих равных условиях кинетическая энергия кометы диссипирует на больших высотах. Поэтому при пролете ядер комет световой вспышкой поражаются большие площади. В то же время роль ударной волны при падении комет менее существенна.

Немаловажно и то, что химический состав комет и астероидов значительно отличается.

ЩИТ И МЕЧ ЗЕМЛЯН

Не подозревая, что земляне придут к мысли о необходимости управлять движением астероидов (малых планет) и комет, поэт В.Я. Брюсов примерно сто лет назад написал следующие строки:

*Правьте движеньем планеты,
— Бегом в пространстве небесном,
Бросьте сигнальные светы
Мирам неизвестным...*

А управлять движением астероидов и комет, угрожающих землянам, придется. Человечество не может допустить, чтобы на Земле наступили события, подобные описанным Ф.И. Тютчевым в стихотворении «Последний катаклизм»:

Таблица 5. Перечень астероидов, попадающих в сферу тяготения Земли в ближайшие 120 лет

Объект	Дата сближения			Удаление от Земли, а. е.
	Год	Месяц	День	
2005 YU55	2011	11	8	0.0015
2006 QV89	2019	9	9	0.0005
153814 2001 WN5	2028	6	26	0.0017
99942 Апофис	2029	4	13	0.0003
2007 UD6	2048	10	18	0.0006
1994 WR12	2090	11	24	0.0011

Таблица 6. Энергетические параметры световой вспышки, площади зон пожаров и разрушений, вызванных падением астероида

d, км	0.03	0.1	0.3	1	3	10	30	102
E _г , Дж	8.4·10 ¹⁴	3.2·10 ¹⁶	8.4·10 ¹⁷	3.2·10 ¹⁹	8.4·10 ²⁰	3.2·10 ²²	8.4·10 ²³	3.2·10 ²⁵
S _f , км ²	81.7	1.4·10 ³	8.2·10 ³	3·10 ⁴	6.8·10 ⁴	1.3·10 ⁵	2.2·10 ⁵	3.3·10 ⁵
S _d , км ²	1.4·10 ²	1.6·10 ³	1.4·10 ⁴	1.6·10 ⁵	1.4·10 ⁶	1.6·10 ⁷	1.4·10 ⁸	1.6·10 ⁹
S _d /S _e	2.9·10 ⁻⁷	3.2·10 ⁻⁶	2.9·10 ⁻⁵	3.2·10 ⁻⁴	2.9·10 ⁻³	3.2·10 ⁻²	2.9·10 ⁻¹	3.2

Примечание: здесь d — диаметр астероида, E_г — энергия излучения света, S_f — площадь зоны пожаров, S_d — площадь зоны разрушений, S_e = 5 · 10⁸ км² — площадь поверхности Земли

*Когда пробьет последний час природы,
Состав частей разрушится земных:
Все зримое опять покроют воды,
И Божий лик изобразится в них!*

Чем чреваты катастрофические падения астероидов и комет на поверхность Земли — обсуждалось выше. А теперь попытаемся выяснить, а можно ли предотвратить такую катастрофу? Можно ли создать противоастероидную (противокометную) защиту Земли (ПАЗЗ)? Позволяют ли это сделать современные технологии?

Автор уверен, что на поставленные вопросы можно дать положительный ответ. ПАЗЗ должна создаваться всеми развитыми государствами, объединив их ресурсы и усилия широкого круга специалистов естественнонаучного, технического и гуманитарного профилей, по аналогии с противоракетной и противокосмической обороной.

Прежде всего, ПАЗЗ должна быть многоэшелонированной. Она должна включать обнаружение, идентификацию, сопровождение и перехват объектов на дальних, средних и малых подступах к Земле (на расстояниях порядка 1, 0,1 и 0,01 а.е.).

Таблица 7. Экологические эффекты падения на Землю крупных космических тел (в скобках приведена концентрация пыли менее 1 мкм)

Диаметр, км	0.03	0.1	0.3	1	3	10	30	102
Масса, кг	4.2·10 ⁷	1.6·10 ⁹	4.2·10 ¹⁰	1.6·10 ¹²	4.2·10 ¹³	1.6·10 ¹⁵	4.2·10 ¹⁶	1.6·10 ¹⁸
Энергия, Дж	8.4·10 ¹⁵	3.2·10 ¹⁷	8.4·10 ¹⁸	3.2·10 ²⁰	8.4·10 ²¹	3.2·10 ²³	8.4·10 ²⁴	3.2·10 ²⁶
Глубина воронки, км	0.09	0.29	0.84	2.5	6.1	16.5	38	96.9
Диаметр воронки, км	0.28	0.9	2.6	7.75	18.9	51.2	117.8	3·10 ²
Средний нагрев атмосферы, К	—	—	—	6.4·10 ⁻³	1.7·10 ⁻¹	6.4	1.7·10 ²	6.4·10 ³
Масса разрушенного вещества (пыли), кг	9.4·10 ⁹ (8.4·10 ⁹)	3.2·10 ¹¹ (3.2·10 ¹⁰)	8.4·10 ¹² (8.4·10 ¹¹)	3.2·10 ¹⁴ (3.2·10 ¹³)	8.4·10 ¹⁵ (8.4·10 ¹⁴)	3.2·10 ¹⁷ (3.2·10 ¹⁶)	8.4·10 ¹⁸ (8.4·10 ¹⁷)	3.2·10 ²⁰ (3.2·10 ¹⁹)
Средняя концентрация разрушенного вещества (пыли), кг/м ³	1.7·10 ⁻⁹ (1.7·10 ⁻¹⁰)	6.4·10 ⁻⁸ (6.4·10 ⁻⁹)	1.7·10 ⁻⁶ (1.7·10 ⁻⁷)	6.4·10 ⁻⁵ (6.4·10 ⁻⁶)	1.7·10 ⁻³ (1.7·10 ⁻⁴)	6.4·10 ⁻² (6.4·10 ⁻³)	1.7 (1.7·10 ⁻¹)	6.4·10 (6.4)

Таблица 8. Степень риска погибнуть или получить травму в течение жизни (продолжительность жизни — 60 лет)

Причина смерти	Вероятность события	Количество потерь, чел.	Степень риска
Автокатастрофа	$3 \cdot 10^{-2}$	1	$3 \cdot 10^{-2}$
Убийство	$3 \cdot 10^{-2}$	1	$3 \cdot 10^{-2}$
Пожар	10^{-3}	1	10^{-3}
Поражение электрическим током	$2 \cdot 10^{-4}$	1	$2 \cdot 10^{-4}$
Авиакатастрофа	$5 \cdot 10^{-6}$	10-100	$5 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^{-4}$
Наводнение	$8 \cdot 10^{-5}$	0,3	$3 \cdot 10^{-5}$
Смерч	$2 \cdot 10^{-5}$	1	$2 \cdot 10^{-5}$
Укус животного	10^{-5}	1	10^{-5}
Болезнь	$3 \cdot 10^{-6}$	1	$3 \cdot 10^{-6}$
Падение астероида:			
а) диаметр 0,1 км;	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^{-3}$
б) диаметр 1 км;	$3,8 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^6$	$7,8 \cdot 10^{-2}$
в) диаметр 10 км	$5,9 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^8$	1,2

Примечание: степень риска равна произведению вероятности события на количество потерь, которое вычислено по площади разрушений и средней плотности населения на суше (40 чел./км²)

Система ПА33 должна включать в себя наземно-космическую службу наблюдения (обнаружения, идентификации и сопровождения), наземно-космическую службу перехвата, наземную службу управления.

Для решения проблемы ПА33 должны использоваться космические обсерватории, вынесенные далеко за пределы Земли, наземные обсерватории, существующие и перспективные радиолокационные системы предупреждения о ракетном нападении (их дальность действия достигает 100 тыс. км), ракетно-космические средства и ядерные устройства.

ПА33 может быть реализована в пассивном или активном режимах. В первом случае, после установления степени грозящей от космического тела опасности и района его падения, предпринимаются меры по эвакуации населения и защите особо важных объектов.

Активный режим предполагает воздействие на космическое тело. Оно может осуществляться следующими способами.

Удар космического аппарата. При этом астероиду (ядру кометы) сообщается импульс скорости, в результате чего тело отклоняется и проходит мимо Земли. Масса ударника, которую можно уже сегодня вывести в космос, не превышает нескольких десятков тонн.

Двигатели большой тяги. Двигатель и топливо доставляются на угрожающее Земле тело. После включения двигателя телу сообщается импульс скорости, уводящий астероид или комету в сторону от Земли. Преимущество этого способа заключается в гибкости воздействия — можно менять направление импульса скорости, корректировать время включения двигателя, его тягу и т.д. Недостаток состоит в меньшей по сравнению с ударом эффективности воздействия.

Таблица 9. Минимальная мощность E_d ядерного боеприпаса, необходимая для отклонения и разрушения астероида размера d

d , км	0,01	0,02	0,1	0,2	1	2	4–5	10	20	40–50
E_d	0,6–100 т	6 т–1 кт	0,6–100 кт	6 кт–1 Мт	0,6–100 Мт	6 Мт–1 Гт	60 Мт–10 Гт	0,6–100 Гт	6 Гт–1 Тт	60 Гт–10 Тт

Примечание: меньшее значение мощности боеприпаса соответствует меньшим значениям плотности разрушаемого вещества (10^3 кг/м³) и меньшим удельным значениям энергии разрушения ($5 \cdot 10^3$ Дж/кг), а большие значения — $7,8 \cdot 10^3$ кг/м³ и 10^5 Дж/кг. Здесь 1 Гт = $4,2 \cdot 10^{18}$ Дж, 1 Тт = $4,2 \cdot 10^{21}$ Дж

Электрореактивный двигатель малой тяги. При этом предполагается установка на космическое тело одного или нескольких двигателей с источником энергии от ядерного реактора или солнечных батарей. Этот метод также уступает ударному методу.

Солнечный парус. Предполагается установка паруса на космическом теле. Необходимое ускорение создается за счет отражения солнечных лучей. Достоинством этого метода является использование энергии (точнее, импульса) солнечных лучей и гибкость в управлении процессом изменения орбиты. Из-за малого ускорения для существенной эволюции орбиты тела потребуются многие годы и даже тысячи лет. Поэтому метод пригоден лишь для отклонения космических тел, периодически сближающихся с Землей.

«Окрашивание» поверхности космического тела. В этом случае предполагается изменение светотрагательных характеристик поверхности астероида (ядра кометы). Заметные изменения параметров орбиты достигаются за много тысяч и даже миллионов оборотов тела вокруг Солнца, на что уйдут десятки — сотни тысяч лет.

Наиболее эффективным из перечисленных способов воздействия оказывается ударный способ.

Лазерный (СВЧ) луч. Показано, что для эффективного воздействия на космические тела диаметром сотни метров необходимы электрическая мощность энергосистемы сотни гигаватт, длительность воздействия — от нескольких часов до суток. Наибольшая дальность воздействия лазера составляет 0,6 — 2 млн км. Начальный диаметр лазерного пучка должен быть порядка десятков метров, площадь солнечных батарей — около 100 — 1000 км².

Расчеты автора показали, что для воздействия пучком радиоволн СВЧ-диапазона потребуются пока не достижимые мощности и гигантские (1 — 10 км) антенны.

Термоядерный взрыв. При помощи мощного взрыва можно отклонить или разрушить космическое тело. Этот способ является наиболее радикальным. Он незаменим при обнаружении угрожающего столкновением объекта на ближних подступах. На реализацию других способов просто не остается времени. Для разрушения тел километровой размера потребуется ядерный заряд в 1 Мт — 1 Гт, а при его размере 4-5 км — около 100 Мт — 10 Гт (табл. 9).

Большие тела потребуют применения более мощных зарядов. Существующие технологии позволяют создать термоядерный заряд в 1 Гт объемом 50 м³ и массой около 100 т. Для доставки такого заряда потребуются ракеты класса «Энергия», которая была способна выводить на низкую орбиту полезную нагрузку до 120 т. В США была разработана система «Space Shuttle», которая доставляла на такую же орбиту нагрузку массой около 100 т.

Заряд в 1 Гт способен разрушить объект размером 1–10 км, а именно такие объекты могут вызвать межконтинентальную или глобальную катастрофу и погубить всю цивилизацию.

Таким образом, человечество не является беззащитным перед старой, но теперь остро осознанной угрозой космиче-



Кратер Бэрринджер (штат Аризона, США)

ского происхождения. Движение практически любого астероида или ядра кометы может быть скорректировано, либо оно может быть разрушено. Важно иметь в виду, что обломки космического тела не должны поразить Землю. Дело в том, что степень наносимого ущерба в этом случае может быть намного больше, чем от исходного, неразрушенного, тела.

Хочется верить, что разум и сила человечества спасут нашу уникальную цивилизацию. Закончим рассказ оптимистическими строками В.Я. Брюсова:

*Пока есть небо, будь доволен!
Пока есть море, счастлив будь!
Пока простор полей раздолен,
Мир славить песней не забудь!*

*Пока есть горы, те, что к небу
Возносят пик над пеньем струй,
Восторга высшего не требуй
И радость жизни торжествуй!*

ГЛАВНЫЕ ИТОГИ

1. В ходе своей эволюции Земля подвергалась и подвергается сейчас непрерывной бомбардировке космическими телами. Размеры последних изменялись от долей миллиметров (пылинки) до единиц километров (астероиды и ядра комет). К счастью, чем больше размер космического тела, тем реже такие тела сталкиваются с нашей планетой.

Обломки астероидов с размерами Тунгусского тела «посещают» Землю один раз в 100 – 1000 лет.

2. Тайна Тунгусского феномена на сегодня до конца не разгадана. Одни астрономы утверждают, что это было ядро кометы, другие – каменный метеороид. Первое из утверждений более предпочтительно, так как оно объясняет почти весь комплекс наблюдавшихся процессов.

3. Космический объект типа Тунгусского тела, взрываясь над мегаполисом, способен его полностью уничтожить. Число жертв при этом будет исчисляться миллионами человек.

4. Тела, аналогичные Витимскому болиду, вторгаясь в атмосферу Земли в среднем один раз в год, способны вызвать разрушение отдельных построек, повредить лесонасаждения, сады и даже травмировать людей.

5. Тела, подобные Челябинскому метеориту, падая на Землю в среднем один раз в 65 лет, могут привести к частичным

разрушениям построек на площади до 5 – 6 тыс. кв. км и травмировать тысячи людей.

6. Падение на Землю космических тел размерами 0,3 – 1, 1 – 3 и 3 – 10 км приводит соответственно к региональной, межконтинентальной и глобальной катастрофам. В первом случае может быть уничтожена отдельная страна, во втором – десятки стран, в третьем – сотни стран, а в четвертом – земная цивилизация и биосфера в целом.

7. Вероятность падения достаточно крупного космического тела на большой город очень незначительна (10^{-9} – 10^{-7}). Но степень риска стать жертвой такого события из-за значительного скопления людей очень велика – больше, чем степень риска погибнуть в авиакатастрофе, от удара электрического тока, наводнения, смерча, укуса животного и т.п.

8. В настоящее время Земля и наша цивилизация не беззащитны перед угрозой из космоса. Человечество владеет энергией космических масштабов – термоядерным оружием – и принципиально способно отразить атаку из космоса.

9. Для защиты землян от падения крупных космических тел необходимо создать многоэшелонированную (т.е. дальнего, среднего и ближнего обнаружения и перехвата) противоастероидную и противокосмическую оборону. Всеми необходимыми технологиями и компонентами человечество располагает уже сейчас. Необходимо полное понимание жителями планеты масштабов угрозы и тесное международное сотрудничество.

Создание упомянутой обороны должно сплотить нашу цивилизацию для противодействия реально существующей опасности «небесной кары».



Литература

1. Алимов Р.В., Дмитриев Е.В. Противоастероидная защита Земли // Природа. – 1995. – № 6. – С. 94 – 101.
2. Микиша А.М. Столкновение небесного тела с Землей. Предотвращение катастрофы // Земля и Вселенная. – 1995. – № 4. – С. 21 – 29.
3. Чурюмов К.И. Катастрофа на Юпитере 1994 года // Земля и Вселенная. – 1996. – № 1. – С. 12 – 28.
4. Плотников П.В., Шуршалов Л.В. Чем чреват град из космоса? // Природа. – 2001. – № 5. – С. 11 – 18.
5. Зайцев А.В. Защита Земли от астероидно-кометной опасности // Земля и Вселенная. – 2003. – № 2. – С. 17 – 27.
6. Язев С.А., Антипин В.С. По следам Витимского болида // Земля и Вселенная. – 2004. – № 5. – С. 59 – 72.
7. Васильев Н.В. Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908 г. – М.: Русская панорама, 2004. – 372 с.
8. Катастрофические воздействия космических тел / Под ред. В.В. Адушкина и И.В. Немчинова. ИДГ РАН. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 310 с.
9. Всероссийская конференция «Астероидно-кометная опасность – 2005» (АКО – 2005). Материалы конференции. СПб.: ИПА РАН, 2005.
10. Черногор Л.Ф. Естественное. Интегрирующий курс. – Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2007. – 536 с.
11. Астероидно-кометная опасность: вчера, сегодня, завтра / Под ред. Б.М. Шустова, Л.В. Рыхловой. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 384 с.
12. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф. – Х.: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.