

## О возможных последствиях удара кометы

Ю. И. Лобановский

Оказывается, шанс жизни млекопитающим на Земле был продлен где-то 50 тысяч лет назад. Комета, грозившая упасть на Землю, была разрушена железоникелевым метеоритом.

Н. К. Зайцев

### Краткое содержание

В работе приведены оценки параметров кометы, по гипотезе автора, разрушенной Аризонским метеоритом 50 – 60 тысяч лет назад в среднем палеолите. Показано, что при ее падении у млекопитающих все же остался бы шанс выжить и сохранить свое господствующее положение в земной биосфере. Однако, если комета упала бы на твердую поверхность Земли, произошла бы страшная региональная катастрофа. В случае если бы ее падение произошло в Мировой океан, было бы разрушено все, что находилось на его берегах.

*Ключевые слова: Челябинский метеорит – Тунгусский метеорит – Аризонский кратер – кратер Чиксулуб – ядро кометы – обломок – взрыв – энергия – ударная волна – цунами*

### Таблица символов

v – скорость  
ρ – плотность  
p – давление  
d, D – диаметр  
L – удаление  
M – магнитуда  
m – масса  
E – энергия  
h – глубина  
z – высота волны  
δ – угол входа  
σ – суммарная масса объектов разных масштабов

### Индексы

0 – начальный  
opt – оптимальный  
e – взрывной

## I. Нормировка объектов по размерам и объем породившей их кометы

В статье [1] была представлена гипотеза о том, что оба рассматриваемых в серии работ [1 – 4] семейства небесных тел возникли в результате столкновения ядра небольшой короткопериодической кометы с железоникелевым метеоритом, последующее падение которого на Землю привело к образованию Аризонского кратера около 50 тысяч лет назад. Тут же один из читателей работы [1] высказался в том смысле, что если бы та комета не была разрушена, то, в конце концов, она упала бы на Землю, как это постоянно происходит с ее обломками. И тогда ее падение могло бы так катастрофически сильно повлиять на биосферу Земли, что млекопитающие, как и 66 миллионов лет назад динозавры [5, 6], погибли бы, или, как минимум, потеряли бы свое господствующее положение на планете.

Попробуем, используя имеющиеся в нашем распоряжении средства [7, 8], оценить, действительно ли так опасна была эта комета – прародительница семейств Орла и Тунгуса, и каковы могли бы быть ее основные характеристики. За период с 1894 по 2013 год было обнаружено 4 крупных обломка кометы, вошедших в атмосферу Земли [1]: Большой Невадский метеор 1894 года, Тунгусский 1908 года и Кубинский и Челябинский объекты 2013 года. Их основные данные приведены в таблице 1. В ней var – вариант объекта, fam – семейство, v – скорость на входе в атмосферу Земли, δ – угол входа, D – диаметр объекта, m – его масса, E<sub>0</sub> – кинетическая энергия объекта на входе в атмосферу в мегатоннах тротилового эквивалента, E<sub>e</sub> – энергия взрыва объекта в тех же единицах. По Кубинскому кометному обломку здесь приведены данные, средние из двух расчетных вариантов (см. [1]).

Таблица 1

var	fem	год	v (км/с)	δ (°)	D (м)	m (Мт)	E <sub>0</sub> (Мт)	E <sub>c</sub> (Мт)
НО-1	Орла	1894	12.75	35.6	117	0.42	8.4	8.1
ТО-3	Тунгуса	1908	17.37	51.2	115	0.40	14.3	14.3
КО-3	Тунгуса	2013	16.86	30.0	85	0.16	5.5	5.0
ЧО-5	Тунгуса	2013	17.52	8.60	195	1.94	71.1	57.8
ССО-1	–	–	15	38	110	0.35	9.4	9.2

Известно, что в первом приближении число небесных тел обратно пропорционально квадрату их диаметра [9]. Несмотря на очень малую статистическую выборку, все-таки очевидно, что в результатах, представленных в таблице 1, имеется явный дефицит объектов малого размера. По указанной закономерности на один объект масштаба Челябинского в представительной статистической выборке должно быть около 2.8 объектов масштаба Невадского – Тунгусского, и 5.3 – масштаба Кубинского. Число объектов среднего масштаба в этой маленькой выборке вполне адекватно, а малых объектов должно быть гораздо больше. Из-за роста высоты взрыва эффекты на подстилающей поверхности с уменьшением масштаба объекта падают еще быстрее, чем уменьшается мощность взрыва, вызываемого разрушением этого объекта. Отсюда следует, что до создания глобальной системы слежения за околоземным космическим пространством большинство эпизодов с объектами масштаба Кубинского могли быть либо не замечены, либо неправильно оценены по величине.

Все эти 4 кометных обломка взорвались над твердой (материковой) поверхностью земли. С учетом того, что мировой океан занимает около 70 % поверхности нашей планеты, следует ожидать, что над ним за рассматриваемые 119 лет взорвалось еще порядка 9 обломков из рассматриваемого интервала масштабов. То есть среднестатистически за этот срок всего должно было быть около 13 падений таких объектов: 1.4 масштаба Челябинского, 4 – Невадского и 7.6 – Кубинского. На таких малых выборках вполне допустимы достаточно сильные отклонения от среднестатистических зависимостей, и с учетом реальных условий наблюдения примем, что все бывшие, но не наблюдавшиеся объекты, были наименьшего размера из рассматриваемого диапазона. Тогда, в соответствии с вышеуказанными нормировками будем считать, что за это время в атмосферу Земли вошли 3 указанных в таблице крупных и очень крупных кометных обломка и 10 более мелких обломков масштаба Кубинского объекта. Тогда среднестатистический размер объекта рассматриваемой группы обломков составляет около 110 м. Средняя скорость входа в атмосферу по всем 8 рассчитанным случаям (см. [1]) равна 15 км/с, а средний угол входа – 38°. Основные параметры такого среднестатистического обломка (ССО-1) приведены в последней строке таблицы 1.

Итак, по оценкам должно было быть порядка 13 объектов семейств Орла и Тунгуса, взорвавшихся в атмосфере Земли за последние 119 лет, со средними характеристиками, соответствующими варианту ССО-1. Тогда за 50 – 60 тысяч лет, прошедших с момента разрушения ядра кометы железоникелевым Аризонским метеоритом [1], таких «погасших болидов» из рассматриваемого интервала масс должно насчитываться порядка 6 тысяч штук, и их общий объем составил бы около 4.2 км<sup>3</sup>.

Теперь оценим общий объем тел как меньшего, так и большего масштабов. Так как их число n обратно пропорционально квадрату их размера D, то при постоянной плотности

$$n \sim D^{-2} \sim m^{-\frac{2}{3}}$$

При большом числе объектов дискретный параметр n можно считать непрерывным и интегрировать по нему. Тогда σ – суммарная масса объектов от нулевого до массы m будет такова:

$$\sigma = \int m(n)dn \sim \int n^{-\frac{3}{2}}dn \sim n^{-\frac{1}{2}} \sim m^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

Если массу Челябинского объекта принять за 1, тогда масса Кубинского будет равна 0.08, и из формулы (1) следует, что в интервале масс 0 – 0.08 общая масса объектов составит 0.75 от массы объектов, находящихся в интервале масс 0.08 – 1.00. Вряд ли можно считать, что Челябинский обломок являлся крупнейшим из всех. Если среди членов двух семейств существуют объекты по массе вдвое более крупные (с диаметром до 250 м), то в интервале масс 1.00 – 2.00 скрыто еще около 0.45 массы от выделенной группировки обломков в интервале масс 0.08 – 1.00. Таким образом, можно считать, что общие масса и объем всех «погасших болидов» в 2.2 раза превысят эти величины у обломков в выделенном интервале, и полный объем «погасших болидов» окажется не менее 9.2 км<sup>3</sup>.

Если сейчас обломков еще осталось порядка половины от этого количества, то их общий объем составит  $13.8 \text{ км}^3$ , а если еще столько же, то  $18.4 \text{ км}^3$ . Это обломки, которые получили в момент разрушения кометы в основном трансверсальные ускорения. Минимум столько же объема надо отнести к обломкам, получившие в основном нормальные к траектории ускорения, и рассеявшиеся в пространстве [1 – 3], так что объем ядра кометы должен быть не меньше  $28 – 37 \text{ км}^3$ . Тогда его размер порядка –  $3.8 – 4.1 \text{ км}$ . Диаметр ядра самой короткопериодической на данный момент и умирающей кометы Энке оценивается в  $4.8 \text{ км}$  [10]. Так что для кометы, разрушенной 50 – 60 тысяч лет назад во времена среднего палеолита, получились, как будто бы, вполне правдоподобные оценки.

## II. Результаты воздействия комет при падении на Землю

Рассмотрим 3 значения диаметра этой Кометы Среднего Палеолита (КСП) –  $4 \pm 1 \text{ км}$ , см. таблицу 2.

Таблица 2

var	v (км/с)	$\delta$ (°)	D (км)	m (Гт)	$E_c$ (Гт)
КСП-1	15	38	3.0	7.1	190
КСП-2	15	38	4.0	17	450
КСП-3	15	38	5.0	33	880
КЧ	70	45	17.0	1290	$750 \cdot 10^3$

Масса кометы, измеряемая в таблице 2 в гигатоннах, оказалась на 3.5 – 4 порядка больше, чем масса ее пока еще крупнейшего из известных Челябинского обломка. Соответственно возросла и кинетическая энергия  $E_0$ , при таких масштабах тела практически полностью превращающаяся в энергию взрыва  $E_c$ . И эта энергия также на 3.5 – 4 порядка больше, чем энергия самого большого взрыва, осуществленного человеком (см. [1]), что заставляет задуматься об очень серьезных последствиях падения такой кометы на Землю.

Однако, как показали расчеты, для того чтобы создать кратер Чиксулуб диаметром в 180 км, после возникновения которого, как считает большинство исследователей, и погубили динозавры [11], требуется энергия еще на 3 порядка больше (см. таблицу 2, КЧ – Комета Чиксулуб). Для этого размер ядра кометы должен был быть в несколько раз больше, чем у Кометы Среднего Палеолита, и заметно больше, чем у кометы Галлея [12], а скорость ее должна соответствовать предельным скоростям долгопериодических комет. Следует отметить, что по ранним оценкам Альвареса и др., выполненным на основе различных аналогий, кинетическая энергия «астероида, создавшего кратер Чиксулуб», [9] была в 3 – 9 раз меньше, чем та, что вычислена и представлена здесь в таблице 2.

У автора данной работы нет желания углубляться в подробное описание катастрофических изменений, которые могли бы произойти на Земле после падения Кометы Среднего Палеолита, а о том, что было или могло бы быть после падения Кометы Чиксулуб, по-видимому, погубившей динозавров, можно прочитать в статье [9]. Здесь просто приведены полученные расчетным путем основные результаты воздействий этих объектов в трех средах планеты: в литосфере, в гидросфере и в атмосфере.

Из таблицы 3 видно, что диаметр первичного кратера от кометы, к счастью, разрушенной по изложенной выше гипотезе Аризонским метеоритом, в осадочной породе плотностью  $2500 \text{ кг/м}^3$  был бы равен 12 – 18 км, а его глубина могла бы доходить до 6.5 км (правда, гораздо раньше там могли бы оказаться граниты или базальты, так что эта глубина, по-видимому, является достаточно условной величиной). Окончательный диаметр кратера составил бы от 17 до 27 км, что в 7 – 10 раз меньше диаметра кратера Чиксулуб. Видимо, минимальные оценки, относящиеся к комете с ядром размером 3 км, являются заниженными, и ориентироваться следует на вторую – третью строки таблиц 3, 4. Для них магнитуда сейсмического толчка находилась бы в диапазоне 6 – 7, а, как известно, на Земле ежегодно происходит порядка 100 землетрясений с такой магнитудой [13]. Однако, магнитуда 10.5 – это уже очень серьезно. До сих пор на Земле было зарегистрировано землетрясение с максимальной магнитудой 9.5 [13], то есть с энергией на 1.5 порядка меньше, чем энергия землетрясения, возникшего при падении Кометы Чиксулуб.

Таблица 3

var	$d_0$ (км)	$h_0$ (км)	$d_1$ (км)	$h_1$ (км)	M	$z_0$ (км)	$z_1$ (м)
КСП-1	12.3	4.35	17.2	0.70	5.1	0.69 – 1.40	18 – 31
КСП-2	15.4	5.46	22.2	0.75	6.1	0.86 – 1.70	26 – 45
КСП-3	18.4	6.51	27.0	0.80	6.7	1.0 – 2.0	34 – 60
КЧ	98.8	35.0	181	1.41	10.5	–	–

При таких уровнях сейсмических проявлений от возможного падения Кометы Среднего Палеолита представляется, что наиболее глобальным ее воздействием на нашу планету могло бы быть ее воздействие на гидросферу в случае ее падения в океан. При средней глубине океана 3.7 км [14], комета, кроме небольшого (по сравнению с наземным) кратера на его дне создала бы цунами с высотой волны  $z_0$  от 0.7 до 2.0 км на расстоянии 20 – 29 км от эпицентра, то есть на границе каверны, возникшей в воде. Даже на расстоянии 2500 км от эпицентра высота волны на мелководье  $z_1$  достигла бы величин, указанных в последнем столбце таблицы 3. Эти высоты цунами были вычислены через высоты волн на глубокой воде, полученных из модуля расчета [7] с пересчетом высоты волны на поверхности воды по формуле Эйри [15]:

$$z_1 = z_0 \left( \frac{h_0}{h_1} \right)^{\frac{1}{4}},$$

где  $h_0$  – глубина «глубокой» воды,  $h_1$  – глубина «мелкой» воды,  $z_0$  – высота волны в данной точке на глубокой воде,  $z_1$  – высота волны на мелкой воде. Кроме того, для однозначности и правильности результата необходимо еще условие максимальной высоты волны  $z_{\max}$  на мелкой воде [16]:

$$z_{\max} = \frac{3}{5} h_{\text{opt}},$$

где  $h_{\text{opt}}$  – глубина мелкой воды, при которой достигается максимальная высота волны.

Таким образом, из расчетов следует, что если бы Комета Среднего Палеолита упала бы в середину Атлантического океана, то волны цунами, захлестнувшие побережья Европы, Африки и Северной Америки, достигли бы высоты 30 – 50 м. То есть, если бы эта небольшая и довольно медлительная комета дожидка бы до нашего времени, то после ее падения все города на берегах того океана, куда она бы упала, были бы уничтожены.

И по традиции, возникшей в этой серии статей, кратко рассмотрим воздействие падения комет на атмосферу. В таблице 4 в правом из пары столбцов приведены перепады давления на ударной волне, возникшей при падении соответствующего варианта кометы на удалении от эпицентра, указанном в левом столбце пары. Для оценки представленных результатов можно вспомнить, что 100 кПа – «расчетное давление ударной волны для проектирования конструкций и защитных устройств подземных сооружений линий мелкого заложения метрополитена», а также то, что «некоторые люди внутри зданий» при таком перепаде давления иногда могут выжить [17]. Для Кометы Среднего Палеолита площадь зоны с таким перепадом на волне доходит до 180 тысяч квадратных километров, то есть до площади двух Венгрий [18], а для Кометы Чиксулуб площадь круга с такими и большими давлениями на ударной волне примерно равна площади России. Так что даже в первом случае это была бы страшная региональная катастрофа.

**Таблица 4**

var	L <sub>1</sub> (км)	P <sub>1</sub> (кПа)	L <sub>2</sub> (км)	P <sub>2</sub> (кПа)	L <sub>3</sub> (км)	P <sub>3</sub> (кПа)
<b>КСП-1</b>	143	100	268	30	2500	1.4
<b>КСП-2</b>	191	100	358	30	2500	1.9
<b>КСП-3</b>	238	100	449	30	2500	2.4
<b>КЧ</b>	2280	100	4280	30	20000	3.0

Перепад давления 30 кПа – это граница «зоны лесоповала» (см. [3, 4]). Так что Комета Среднего Палеолита обеспечила бы вывал леса на территории всей Франции, а Комета Чиксулуб – на территории всей Евразии. И, наконец, о падении малой кометы услышали бы на расстоянии нескольких тысяч километров, а о падении большой – на всей Земле. С рассуждениями о более отдаленных последствиях таких событий типа «ядерной зимы» можно ознакомиться в статье [9].

### **Выводы**

1. Из результатов этой работы следует, что при падении на Землю небольшой и довольно медлительной кометы, по гипотезе автора, разрушенной в среднем палеолите Аризонским метеоритом, у млекопитающих остался бы шанс выжить и сохранить свое господствующее положение в земной биосфере.
2. Однако, земная цивилизация, если бы она существовала на момент падения кометы, претерпела при этом значительный урон. Падение такой кометы на твердую поверхность Земли привело бы к страшной

- региональной катастрофе. Более вероятное ее падение в Мировой океан – к разрушению практически всего, что находится на его берегах.
3. Таким образом, цена некоторых неудобств, связанных с периодическими входами обломков этой кометы в атмосферу Земли, невелика в сравнении с той угрозой, которая была устранена при ее разрушении.

### Литература

1. Ю. И. Лобановский – Два семейства обломков одной кометы и их родители. *Synerjetics Group*, 24.04.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/families.htm>
2. Ю. И. Лобановский – Первоочередная задача оценки остроты кометно-метеоритной угрозы. *Synerjetics Group*, 28.03.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/memorandum.htm>
3. Ю. И. Лобановский – Параметры Челябинского и Тунгусского объектов и характеристики вызванных ими взрывов. *Synerjetics Group*, 12.04.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/objects.htm>
4. Ю. И. Лобановский – Оценка адекватности условий на ударной волне вдали от эпицентра взрыва. *Synerjetics Group*, 19.04.2013 // <http://synerjetics.ru/article/border.htm>
5. Мел-палеогеновое вымирание. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Вымирание\\_динозавров](http://ru.wikipedia.org/wiki/Вымирание_динозавров)
6. Ученые утверждают, что динозавров уничтожила комета, а не астероид. *Светлые Новости*, 06.04.2013 // <http://lightnews.net/uchenye-utverzhdayut-chto-dinozavrov-unichtozhila-kometa-a-ne-asteroid.html>
7. R. Marcus, H. J. Melosh, G. Collins – Earth Impact Effects Program. *Imperial College (London), Purdue University* // [http://impact.ese.ic.ac.uk/cgi-bin/crater.cgi?dist=20&diam=17&pdens=1000&pdens\\_select=0&vel=18&theta=30&tdens=&tdens\\_select=3000](http://impact.ese.ic.ac.uk/cgi-bin/crater.cgi?dist=20&diam=17&pdens=1000&pdens_select=0&vel=18&theta=30&tdens=&tdens_select=3000)
8. G. S. Collins, H. J. Melosh, R. A. Marcus – Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth. *Meteoritics & Planetary Science*, 40, no 6, 2005 // <http://impact.ese.ic.ac.uk/ImpactEffects/effects.pdf>
9. Л. В. Альварес и др. – Внеземная причина вымирания в меловом и третичном периодах. Экспериментальные результаты и теоретическая интерпретация. *Science, New Series*, 208, no 4448, 06.06.1980 (на русском) // <http://www.ikz.ru/~smulski/Papers/TrtExtRu.pdf>
10. 2P/Енке. *JPL Small-Body Database Browser* // <http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=2P#content>
11. Чиксулуб. *Wikipedia* // <http://ru.wikipedia.org/wiki/Чиксулуб>
12. Комета Галлея. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Комета\\_Галлея](http://ru.wikipedia.org/wiki/Комета_Галлея)
13. Магнитуда землетрясения. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитуда\\_землетрясения](http://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитуда_землетрясения)
14. Мировой океан. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Мировой\\_океан](http://ru.wikipedia.org/wiki/Мировой_океан)
15. Б. Б. Кадомцев, В. И. Рыдник – Волны вокруг нас. Москва, «Знание», 1981.
16. И. Н. Днестрянский, Ю. И. Лобановский – Наводнение в Крымске: причины и механизмы затопления города. *Synerjetics Group*, 07.08.2012 // <http://synerjetics.ru/article/machinery.htm>
17. Атмосферный ядерный взрыв. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосферный\\_ядерный\\_взрыв](http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосферный_ядерный_взрыв)
18. Венгрия // <http://ru.worldstat.info/Asia/Hungary/Land>

Благодарю Н. К. Зайцева за идею, которая привела к написанию данной работы.

Москва,  
28.04.2013

Ю. И. Лобановский