

## Оценка адекватности условий на ударной волне вдали от эпицентра взрыва

Ю. И. Лобановский

Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые; иначе такое бросание будет пустою забавою.  
К. Прутков

### Краткое содержание

В работе анализируется граничное условие – перепад давления на расходящейся от центра взрыва ударной волне, используемое в математической модели, связывающей параметры движения небесных тел как в сфере действия Солнца, так и в сфере действия Земли, с массо-энергетическими характеристиками этих тел и с характеристиками взрывов, вызванных их разрушением в атмосфере. Это условие определяет расчетный уровень энергии взрыва. Показано, что выбранные в работе [1] базовые варианты Челябинского и Тунгусского объектов наилучшим образом соответствуют наблюдавшимся при их взрывах эффектам. Данные, получаемые при расчете варианта NASA, который сейчас стали дезавуировать даже его создатели, не соответствуют характеристикам наблюдавшихся эффектов с расхождением расчетных и наблюдаемых параметров на два с половиной порядка и даже более.

*Ключевые слова:* Челябинский метеорит – Тунгусский метеорит – обломок – взрыв – высота – энергия – эпицентр – ударная волна – давление – расстояние

### Таблица символов

v – скорость  
ρ – плотность  
p – давление  
D – диаметр  
L – удаление  
m – масса  
E – энергия  
H – высота  
δ – угол входа

### Индексы

0 – начальный  
e – взрывной

### I. Введение

Основные параметры Челябинского и Тунгусского объектов и характеристики вызванных ими взрывов определены в статье [1] на основе регулярной вычислительной процедуры, связывающей параметры движения небесных тел как в сфере действия Солнца, так и в сфере действия Земли, с массо-энергетическими характеристиками этих тел и с характеристиками взрывов, вызванных их разрушением в атмосфере. Для замыкания системы уравнений и дополнительных соотношений требуются два условия, определяющие характеристики взрыва и масштаб явлений, наблюдающихся на подстилающей поверхности.

В случае Челябинского взрыва первым таким условием является высота, на которой он произошел. К настоящему моменту она определена достаточно точно. В случае Тунгусского взрыва высота варьировалась в поисках оптимума, удовлетворяющего второму граничному условию, которым является перепад давления на ударной волне на определенном расстоянии от эпицентра взрыва. Таким расстоянием для Челябинского взрыва была дистанция, на которой еще разбивались стекла, то есть 90 км. Она была принята на основании того, что после Челябинского взрыва стекла в окнах были разбиты в городах Златоусте и Троицке, ближайшие окраины которых находились на этом расстоянии от эпицентра [2]. Для Тунгусского взрыва это была дистанция до границы лесоповала, составлявшая 20 км, и определенная по карте пятна лесоповала (см. [1]).

Это граничное условие прямо и непосредственно определяет масштаб взрыва, и это очевидно априори, без всяких расчетов, а из основных законов возникновения и распространения ударных волн. Поэтому, подвергнем его формулировку – «Перепад давления на ударной волне Челябинского взрыва составлял 5 кПа на расстоянии 90 км от его эпицентра» объективному анализу. В модуль расчета взрывов и столкновений [3], использованный в расчетной процедуре, заложены комментарии, из которых следует, что массово окна начинают разбиваться при перепаде около 7 кПа. Известно, что «в соответствии с российскими

строительными нормами временное сопротивление избыточному взрывному давлению остекленных конструкций не должно превышать 5 кПа» [4]. В соответствии с пособием МЧС России, разрушение остекления оконных проемов происходит при избыточном давлении 5 – 8 кПа [5]. Однако, в Википедии [6] сообщается, что почти все обычные стекла могут быть разбиты при перепаде давления на волне ~ 2 кПа со ссылкой на источник [7], где, впрочем, эти данные отсутствуют. Таким образом, перепад давления 5 кПа в первом приближении можно считать границей массового разбития оконных стекол.

Тем не менее, испытания термоядерных зарядов мегатонного класса как будто бы показывают, что ударная волна на больших расстояниях от эпицентра взрыва может вести себя иногда довольно прихотливо, и локальные разрушения могут наблюдаться на очень больших расстояниях. Например, во время испытаний 22 ноября 1955 года первого советского двухступенчатого термоядерного заряда РДС-37 с энергией 1.6 Мт при высоте подрыва 1.55 км над площадкой П-5 Опытного поля СИЯП [8] осколками стекол якобы были ранены 16 жителей города Семипалатинска, расположенного на расстоянии около 170 км от этой площадки. К тому же 3 человека в Семипалатинске получили сотрясение мозга. В то же время в пункте «М» (сейчас – город Курчатов) на расстоянии 60 км от эпицентра разрушений зафиксировано не было, хотя жалкие мазанки местного населения на примерно таких же расстояниях иногда получали повреждения [9]. При оценке любых сообщений следует учитывать, что фантазии очевидцев бывают довольно причудливыми. Кроме того, проявлявшаяся иногда в самых необычных формах способность советских людей, в том числе и номенклатуры, использовать в своих целях окружающую их тотальную секретность, тоже могла сказаться на качестве информации о последствиях этого испытания. Однако сейчас, по-видимому, правду выяснить уже не удастся, но информацию о Семипалатинске следует отнести к субъективной.

Для сравнения вспомним, что спустя 6.5 лет, 2 мая 1962 года в эксперименте Квеста (Questa) в окрестности острова Рождества (сейчас – Киритимати) на расстоянии 24 км от его южного побережья на практически такой же высоте (1.6 км) был подрыван американский термоядерный заряд сопоставимых характеристик – 670 кт (см. рис. 1), причем до испытаний ожидалась энергия взрыва в 1 Мт [10]. Расстояние от эпицентра до западных и крайних северо-западных районов острова, которые в период с 1882 года по 1939 год были засажены кокосовыми пальмами [11], составляло приблизительно 45 – 55 км, что в пересчете с учетом меньшей мощности Квесты как раз и соответствует дистанции 60 – 65 км для РДС-37. Судя по тому, что облако от взрыва на рис. 1 практически перестало излучать, после него прошло уже не менее минуты, и ударная волна либо вот-вот придет к месту расположения наблюдателей, либо уже прошла мимо него. Но испытателей, для которых этот взрыв был далеко не первым, и, особенно того, что стоит на переднем плане на фоне кокосовых пальм, это не сильно смущает.



Рис. 1

Сравним их поведение с тем, что можно наблюдать на видео, снятом 15 февраля 2013 года в Южно-Уральском государственном университете [12] (см. рис. 2), который расположен на сопоставимом расстоянии (35.5 км) от эпицентра в 16 раз более высотного взрыва кометного обломка. Различия в позах участников эти разделенных полувеком событий, видимо, в комментариях не нуждается.



Рис. 2

Там же можно видеть, как ударной волной выносились оконные стекла (рис. 3).



Рис. 3

## II. Результаты расчетов

Таким образом, представлялось целесообразным оценить характеристики изучаемого явления с помощью величин, лучше поддающихся объективному количественному анализу, чем граница разбития

оконных стекол. Для этого был рассмотрен ряд граничных условий на расстоянии 90 км от эпицентра Челябинского взрыва из 5 членов – от 2 до 6 кПа с шагом 1 кПа, чтобы выяснить, к каким энергиям взрыва и параметрам небесного тела это приведет.

На рис. 4 показаны изменения расчетной массы объекта  $m$  (в мегатоннах), его плотности  $\rho$  (в тоннах на кубический метр) и диаметра  $D$  (в сотнях метров) по перепаду давления на волне – точки 1 – 5 соответствуют указанному выше ряду перепадов давления: 2; 3; 4; 5; 6 (кПа). Условия на входе в атмосферу такие же, как у базового варианта ЧО-5 из работы [1]: скорость  $v = 17.52$  км/с, угол входа  $\delta = 8.60^\circ$ .

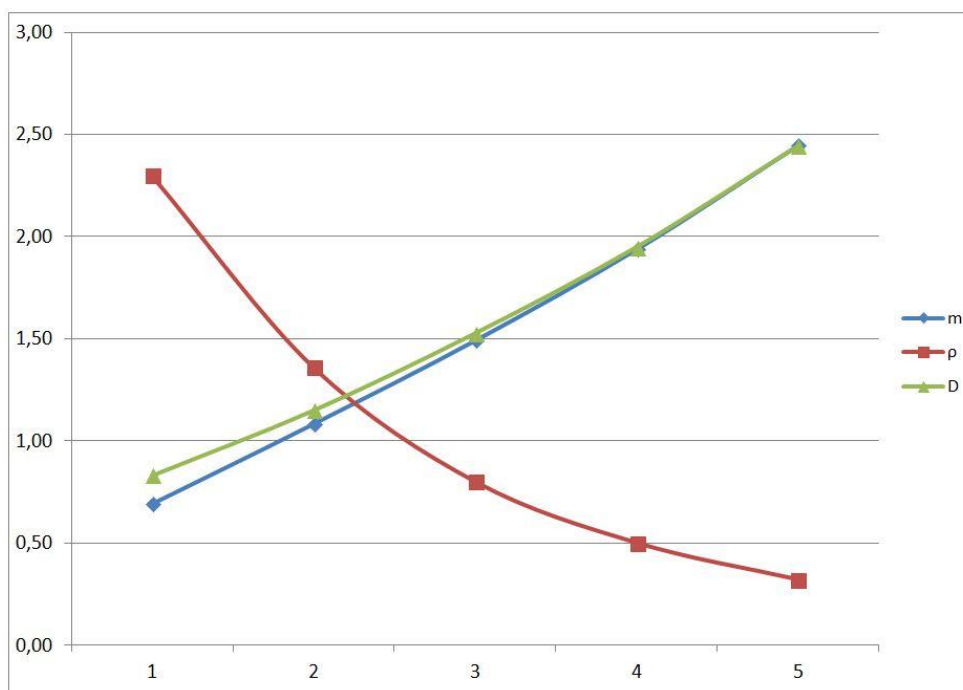


Рис. 4

На рис. 5 приведены расчетное изменение энергии объекта  $E_0$  при входе в атмосферу (в мегатоннах тротилового эквивалента) и энергии взрыва  $E_e$  в аналогичных единицах.

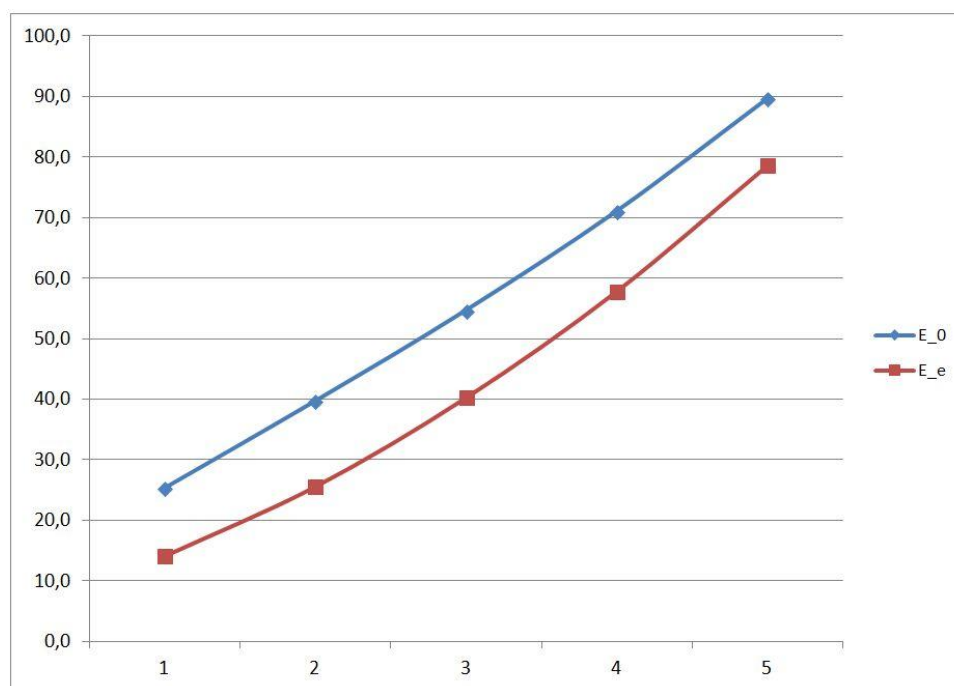


Рис. 5

Те же параметры приведены и в таблице 1. В ней N – номер варианта, var – его наименование. Вариант ЧО-NASA имеет те диаметр и массу, которые были приведены во втором пресс-релизе NASA [13], и что тиражируется средствами массовой информации в течение всего прошедшего времени.

Таблица 1

N	var	$\rho$ (кг/м <sup>3</sup> )	D (м)	m (Мг)	E <sub>0</sub> (Мг)	E <sub>e</sub> (Мг)	H (км)
1	<b>ЧО-12</b>	2300	83	0.69	25.3	14.0	25.5
2	<b>ЧО-13</b>	1360	115	1.08	39.7	25.5	25.5
3	<b>ЧО-14</b>	800	153	1.49	54.7	40.2	25.5
4	<b>ЧО-5</b>	500	195	1.94	71.1	57.8	25.5
5	<b>ЧО-16</b>	320	245	2.45	89.7	78.6	25.5
–	<b>ЧО-NASA</b>	3900	17	0.010	0.37	0.12	35.9

На рис. 6 приведены расчетные изменения перепадов давления на ударной волне в эпицентре (p<sub>0</sub>) и на расстоянии 35 и 90 км от него ((p<sub>2</sub> и p<sub>3</sub> соответственно). То же – в таблице 2, только еще добавлено удаление в 20 км, важное для Тунгусского объекта.

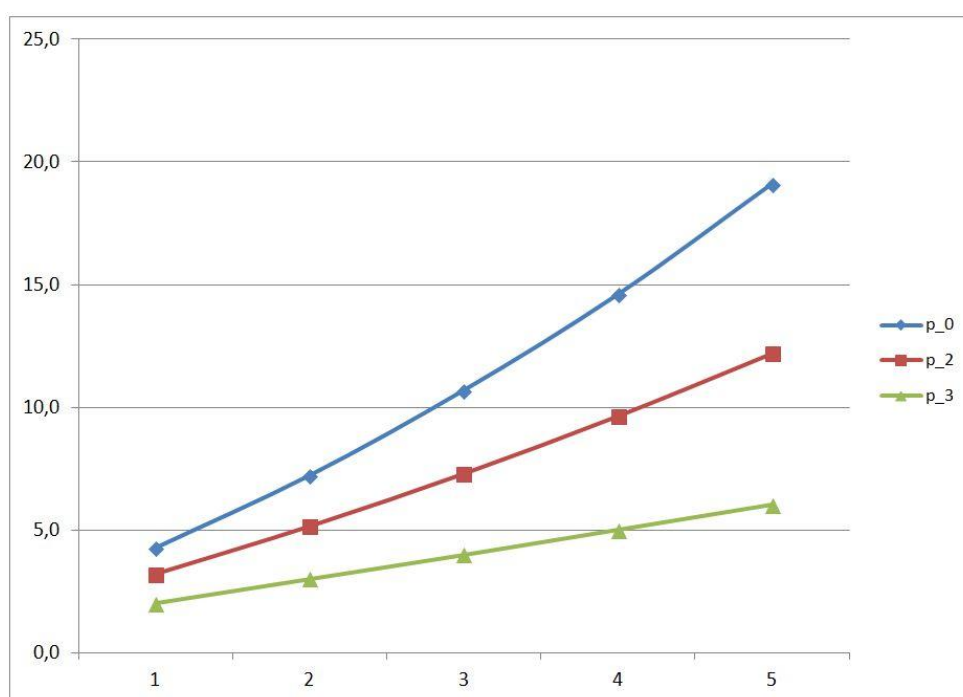


Рис. 6

Таблица 2

var	L <sub>0</sub> (км)	p <sub>0</sub> (кПа)	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>ЧО-12</b>	0	4.3	20	3.6	35	3.2	90	2.0
<b>ЧО-13</b>	0	7.2	20	6.0	35	5.1	90	3.0
<b>ЧО-14</b>	0	10.7	20	8.6	35	7.3	90	4.0
<b>ЧО-5</b>	0	14.6	20	11.5	35	9.6	90	5.0
<b>ЧО-16</b>	0	19.1	20	14.8	35	12.2	90	6.0
<b>ЧО-NASA</b>	0	0.028	20	0.027	35	0.027	90	0.025

Таким образом, из расчетов следует, что при изменении перепада давления на удалении 90 км от эпицентра Челябинского взрыва от 2 до 6 кПа, расчетная масса Челябинского объекта растет от 0.69 до 2.45 Мг, плотность падает от 2300 до 320 кг/м<sup>3</sup>, диаметр увеличивается с 83 до 245 м.

Известно, что осколки объекта, найденные на озере Чебаркуль, являются ординарными хондритами группы LL [14]. Плотность хондритов этой группы изменяется от 3150 до 3620 кг/м<sup>3</sup> (см. [15, 16]). Таким образом, хондритный LL-метеорит не мог быть Челябинским в варианте ЧО-12 хотя бы по причине несовпадения плотностей. Конечно, можно было бы предположить пористость у хондритов порядка 30 % по

объему, но характеристики найденных образцов, насколько можно судить, не позволяют это сделать. Кроме того, следует полагать, что при взрыве 700 тысяч тонн хондритов, масса собранных на земле осколков была бы больше, чем эти килограммы, о которых сообщается в прессе. Далее, перепад давления на волне около 3 кПа не приводит к таким падениям людей из-за волны, какие можно было наблюдать на видео, кадр из которого представлен на рис. 2. «Граница многочисленных травм от падения и от летящих осколков стекла» начинается с «14 кПа и более» [6]. Эпизод с братьями-эвенками, чум которых 30 июня 1908 года оказался примерно в 30 км от эпицентра Тунгусского взрыва, когда одного из братьев ударная волна бросила в очаг, а потом он был завален шестами чума [17], по базовому варианту расчета Тунгусского объекта ТО-3 произошел при перепаде давления как раз равном 14.5 кПа.

Вариант ЧО-13 не проходит по той простой причине, что вещества плотностью 1300 – 1400 кг/м<sup>3</sup> в качестве основного материала метеоритов неизвестны.

Вариант ЧО-14 – снежно-ледяной обломок кометы плотностью около 800 кг/м<sup>3</sup>, уже близок к базовому ЧО-5, и, уверенно выбрать из них вариант, наиболее адекватно соответствующий происходившим явлениям, на основании имеющихся качественных наблюдений во время инцидента, становится трудно. Однако, есть количественный способ оценки параметров объекта, который и будет далее использован.

Вариант ЧО-16 – обломок кометы плотностью около 320 кг/м<sup>3</sup>, является источником слишком мощного воздушного взрыва с перепадами давления на ударной волне в окрестности эпицентра около 20 кПа, что является границей начала сильных разрушений деревянных домов [6], чего, как известно, не было. Эпицентр взрыва оказался в ненаселенной местности. Ближе всего из населенных пунктов был поселок Первомайский – на расстоянии около 2 – 3 км, нигде ни разу не упоминавшиеся в этом контексте две деревни – Шумаки и Саксан, а также город Коркино – до его ближайших окраин было около 7 км. О сильных разрушениях домов там не сообщалось. Следовательно, вариант ЧО-16 приводит к чрезмерно большой, несоответствующей реальности энергии взрыва.

Ну, и наконец, вариант ЧО-NASA настолько неадекватен, что на него, видимо, не стоит тратить много слов. Стоит отметить только высоту взрыва, на 10 с лишним километров превышающую наблюдавшуюся, а также «барометрические» перепады давлений на волне около 25 – 30 Па, что в 300 – 500 раз меньше наблюдавшихся во время инцидента. И, чтобы окончательно завершить тему о метеорите типа NASA, следует упомянуть, что специалист в области инфразвуковых волн Питер Браун на проходящей в эти дни в Аризоне в городе Флагстафф Международной конференции по защите от астероидно-кометной опасности заявил, что инфразвуковые волны, создаваемые «Челябинским метеоритом», были такой низкой частоты, что существующее программное обеспечение для их обработки «не смогло с ними справиться» [18]. Таким образом, он публично признал, что его данные, которые были фактически единственным основанием версии NASA о параметрах Челябинского объекта, оказались ошибочными (критику этой версии см. в статье [1]).

Теперь, аналогично тому, что было сделано в статье [1], рассмотрим этот же ряд плотностей в качестве характеристики вещества, из которого состоял Тунгусский объект. Данные расчетов приведены на рис. 7 – 9 и в таблице 3. Единицы измерения и их размерности те же, что и раньше. Условия на входе в атмосферу такие же, как у базового варианта ТО-3 из работы [1]: скорость  $v = 17.37$  км/с, угол входа  $\delta = 51.2^\circ$ .

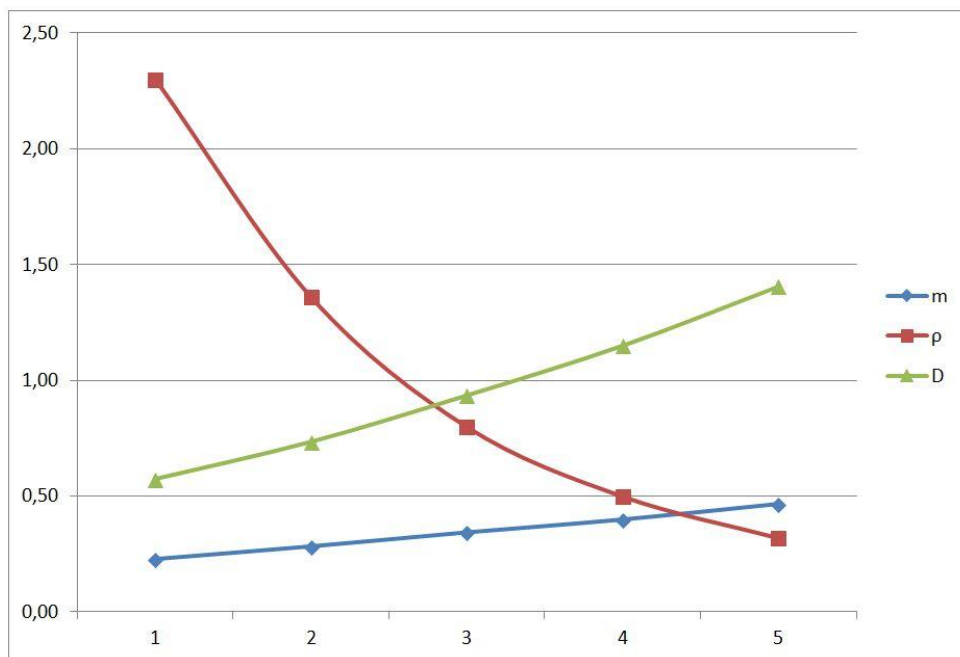


Рис. 7

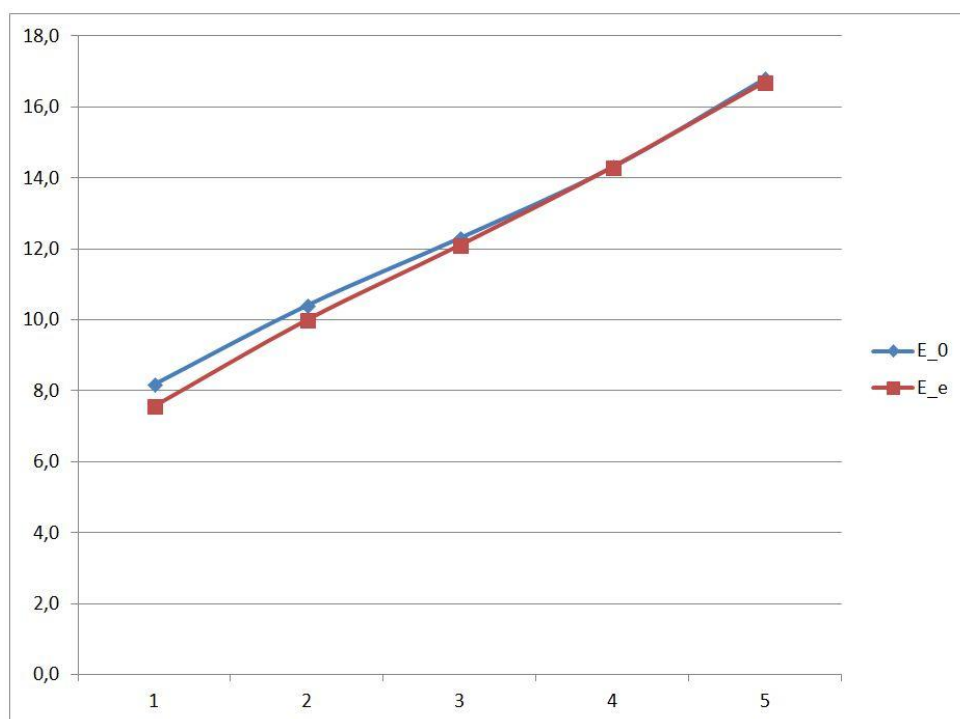


Рис. 8



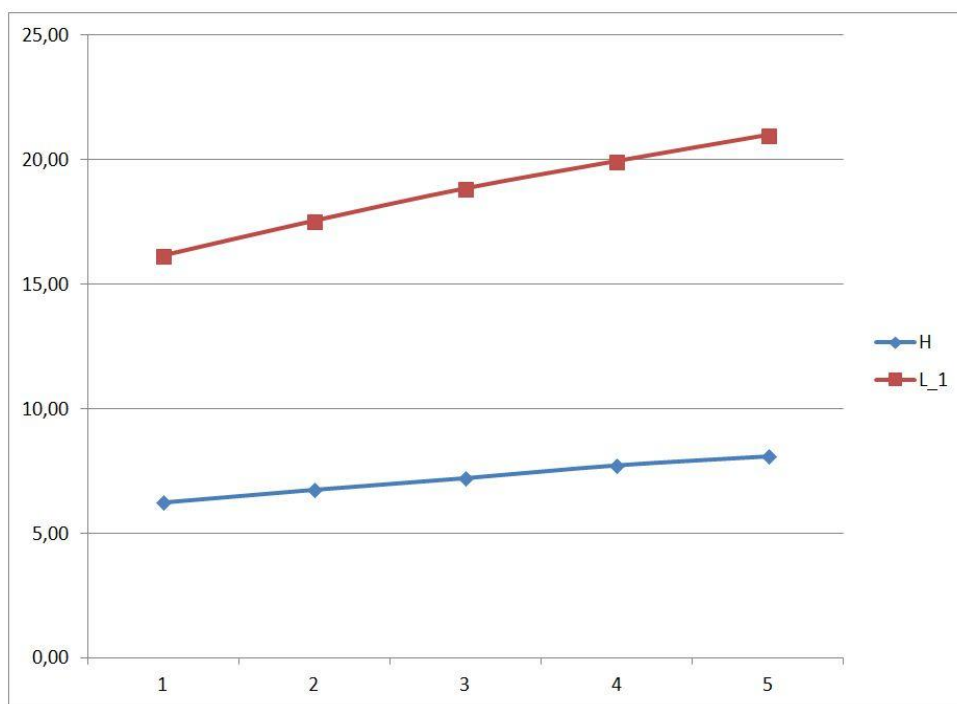


Рис. 9

Таблица 3

N	var	$\rho$ (кг/м <sup>3</sup> )	D (м)	m (Мт)	E <sub>0</sub> (Мт)	E <sub>e</sub> (Мт)	L <sub>1</sub> (км)	H (км)
1	ТО-10	2300	57	0.23	8.2	7.6	16.2	6.3
2	ТО-11	1360	73	0.28	10.4	10.0	17.6	6.8
3	ТО-12	800	94	0.34	12.3	12.1	18.9	7.2
4	ТО-3	500	115	0.40	14.3	14.3	20.0	7.8
5	ТО-14	320	141	0.47	16.8	16.7	21.0	8.1

Из расчетов следует, что при уменьшении плотности Тунгусского объекта от 2300 до 320 кг/м<sup>3</sup>, его расчетная масса вырастает от 0.23 до 0.47 Мт, а диаметр – от 57 до 141 м. При этом энергия взрыва E<sub>e</sub> увеличивается с 7.6 до 16.7 Мт в тротиловом эквиваленте, а оптимальная его высота H – с 6.3 до 8.1 км. Но самое главное то, что дистанция L<sub>1</sub>, на которой перепад давления снижается до уровня 30 кПа, возрастает с 16.2 до 21.0 км. Как уже подробно рассматривалось в [1], эта дистанция является границей зоны вывала леса, и по данным работ на местности ее минимальная величина равна 20 км. Таким образом, варианты ТО-10 – ТО-12 Тунгусского объекта и варианты ЧО-12 – ЧО-14 Челябинского объекта оказываются несоответствующими этому условия, а как уже было показано выше, вариант ЧО-16 Челябинского объекта (и, соответственно, вариант ТО-14 Тунгусского объекта) также приводит к характеристикам взрыва, превышающим наблюдаемые.

#### Выводы

1. Только базовые варианты ЧО-5 и ТО-3 объектов – обломков кометы удовлетворяют всем налагаемым на решения рассматриваемой задачи ограничениям, вытекающими из наблюдений за Челябинским и Тунгусским инцидентами и их последствиями.
2. Данные, получаемые при расчете варианта NASA, который сейчас стали дезавуировать даже его создатели, не соответствуют характеристикам наблюдавшихся эффектов с расхождением расчетных и наблюдаемых параметров на два с половиной порядка и даже более.

#### Литература

1. 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>
2. Атака с космоса. *Южноуральск.рф*, 15.02.2013 // <http://южноуральск.рф/новости-южноуральска/атака-с-космоса.html>
3. 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](bin/crater.cgi?dist=20&diam=17&pdens=1000&pdens_select=0&vel=18&theta=30&tdens=&tdens_select=3000)

4. Стекло и стеклопакеты для пластиковых окон. *Экоокна* // <http://ecookna.com.ua/articles/steklo/>
5. М. С. Васильев, М. А. Комова, Г. А. Прытков – О пожарной безопасности. *Учебное пособие, МЧС РФ*, 2003 // <http://www.pandia.ru/text/77/168/15165.php>
6. Атмосферный ядерный взрыв. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосферный\\_ядерный\\_взрыв](http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосферный_ядерный_взрыв)
7. В. Р. Миргородский – Безопасность жизнедеятельности. Раздел III. Защита объектов печати в чрезвычайных ситуациях. Московский государственный университет печати, курс лекций // <http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook074/01/index.html?part-001.htm>
8. Семипалатинский ядерный полигон. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Семипалатинский\\_ядерный\\_полигон](http://ru.wikipedia.org/wiki/Семипалатинский_ядерный_полигон)
9. Испытания первых термоядерных зарядов РДС-6с и РДС-37. Ядерные испытания СССР, т. 1. *Институт стратегической стабильности Росатома и Российский Федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ*, 1997 // [http://www.wsyachina.narod.ru/history/nuclear\\_testing\\_5.html](http://www.wsyachina.narod.ru/history/nuclear_testing_5.html)
10. Operation Dominic 1962. *Janes's Oceania Home Page* // [http://www.janeresture.com/christmas\\_bombs/operation\\_dominic\\_1962.htm](http://www.janeresture.com/christmas_bombs/operation_dominic_1962.htm)
11. Kiritimati. *Wikipedia* // <http://en.wikipedia.org/wiki/Kiritimati>
12. В ЮУрГУ камеры сняли последствия взрыва метеорита. *Video* // <http://www.youtube.com/watch?v=6qqF2wJUtpw>
13. Russia Meteor Not Linked to Asteroid Flyby. *JPL, Caltech, Latest News*, 15.02.2013 // <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?release=2013-061>
14. Ученые обнаружили в обломке челябинского болида большое количество меди. *Новости онлайн*, 06.03.2013 // <http://mgorsk.ru/text/newsline/629037.html>
15. A.N. Dunaeva, V.A. Kronrod, O.L.Kuskov – Water-Ice Content in Titan and Callisto. *Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences*, Moscow, Russia.
16. T. Kohout – Physical Properties of Meteorites and their Role in Planetology. University of Helsinki, Department of Physics, Report Series in Geophysics no 60, 2009 // <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/23178/physical.pdf?sequence=1>
17. Тунгусский метеорит. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Тунгусский\\_метеорит](http://ru.wikipedia.org/wiki/Тунгусский_метеорит)
18. О. Добровидова – Из Челябинска с любовью: как в Америке обсуждали метеорит. *РИА-Новости, Наука*, 15.04.2013 // <http://ria.ru/science/20130415/932637522.html>

Москва,  
19.04.2013

Ю. И. Лобановский