

## Челябинский метеороид: критика источников и обоснование выводов

Ю. И. Лобановский

### Краткое содержание

В работе показано, что концепция, представляющая события, произошедшие 15 февраля 2013 года в небе юго-юго-западнее Челябинска в виде воздушного взрыва хондритного метеороида плотностью  $3300 \text{ кг/м}^3$ , размером порядка 15 – 20 м, массой 10 – 15 кт и энергией взрыва 0.3 – 0.5 Мт в тротиловом эквиваленте, абсолютно не согласуется с явлениями, наблюдавшимися в атмосфере и на подстилающей поверхности. Это доказывается на основе инфразвуковых данных, уровней избыточного давления на ударной волне в Челябинске и окрестностях, а также по разбитым стеклам, выбитым воротам и деформированным несущим балкам. Об этом же свидетельствует также масса следа Челябинского метеороида. Показано также, что оценки яркости его вспышки были проведены таким образом, что не могут являться основанием для каких-либо определенных выводов.

Всем наблюдениям соответствует разрушение в стратосфере загрязненного хондритами снежно-ледяного обломка кометы средней плотностью около  $570 \text{ кг/м}^3$ , размером 180 – 185 м, массой около 1.8 Мт и энергией взрыва 57 Мт. При этом его поверхность была покрыта коркой из хондритов, осколки которой и были найдены после взрыва. Эта поверхностная корка образовалась при абляции вещества метеороида под воздействием солнечного излучения за несколько тысяч или десятков тысяч лет во время его движения вокруг Солнца.

*Ключевые слова: Челябинский метеороид – Тунгусский метеороид – Царь-бомба – Кракатау – метеороид – ядерный взрыв – траектория – высота – энергия – эпицентр – инфразвук – яркость – вспышка – ударная волна – давление – расстояние*

### Таблица символов

a, b, c – эмпирические коэффициенты  
 $E_c$  – энергия/ее тротиловый эквивалент  
H – высота взрыва  
p – давление  
 $\rho$  – плотность  
R – радиус  
 $\xi$  – приведенный радиус  
L – длина, удаление  
d – диаметр частиц  
D – толщина слоя  
n – концентрация частиц  
N – число частиц  
 $\tau$  – оптическая толщина  
 $\sigma$  – сечение взаимодействия  
 $\sigma_b$  – показатель рассеивания  
 $\Delta$  – символ разности

### I. Введение

Взрыв очень крупного метеороида 15 февраля 2013 года в небе юго-юго-западнее Челябинска в первые же часы после этого события привел к многочисленным спекуляциям как астрономов-профессионалов, так и дилетантов. Это было вполне естественной реакцией на произошедшее событие, однако, не является естественным то, что эти первые скоропалительные умозаключения до сих пор довлеют над умами, не позволяя правильно и беспристрастно его оценить.

Автор этой работы, не будучи профессиональным астрономом, но являясь физиком, заинтересовался этим неординарным явлением, и не используя никаких предвзятых предположений о природе и характеристиках метеороидов, в течение марта 2013 построил математическую модель, связывающую параметры движения небесных тел как в сфере действия Солнца, так и в сфере действия и атмосфере Земли, с массо-энергетическими характеристиками этих тел и с характеристиками взрывов, вызванных их разрушением, которые, в свою очередь, увязываются с наблюдающимися при этом явлениями [1 – 3]. Важнейшей частью этой модели является интерактивный Интернет-модуль, описывающий разрушение метеороидов в атмосфере и/или их падение на поверхность Земли [4]. Это комплексная модель при известной орбите метеороида до столкновения с Землей позволяет перейти от более или менее

правдоподобных предположений о характеристиках метеороидов, входящих в ее атмосферу, к их прямым расчетам.

Применение этой модели к Челябинскому метеороиду показало, что как его параметры, так и характеристики его взрыва значительно отличаются от тех, что заявляются в таком качестве в большинстве современных работ и их интерпретаций средствами масс-медиа, тиражируемых разными изданиями в бесчисленных количествах методом копирования. Поэтому, целесообразно провести анализ данных, представленных другими авторами, и выявить причины расхождения между ними и тем, что получено в работах [1 – 3]. Для этого в статье последовательно сравниваются по основным направлениям исследований результаты, полученные с помощью этой математической модели, и данные от двух крупных коллективов исследователей (состоявших вместе из 92 человек) [5, 6], представленные в конце 2013 года в авторитетных научных журналах Nature и Science, и, в целом, аккумулирующие мнения большинства из тех, кто считает себя учеными.

## **II. Оценки параметров Челябинского метеороида и характеристик его взрыва по данным инфразвуковых станций**

Все началось с релиза NASA от 15 февраля 2013 года. Там сообщалось, что Челябинский «метеор» имел размер до входа в атмосферу 15 м, массу – 7 кт, скорость его полета была 18 км/с, а энергия его взрыва составляла «сотни килотонн» в тротиловом эквиваленте [7]. Основания этим оценкам указаны не были. Далее в тот же день последовало уточнение, что размер объекта увеличен до 17 м, масса – до 10 кт, а оценка энергии взрыва выросла, почему-то, на 30 кт до, примерно, 500 кт, хотя кинетическая энергия метеороида по указанным в первом релизе данным должна была бы составить 270 кт, и при ее увеличении на 30 кт величина энергии в 500 кт никак не получается. Основания для новых оценок – данные, полученные «на 5 «дополнительных» станциях инфразвукового наблюдения, расположенных по всему миру, причем первой из них, зарегистрировавшей событие, была станция на Аляске» [7].

Учитывая тот факт, что перемножая половину квадрата заявленной скорости объекта на заявленную массу, и деля результат на 4.185 МДж/кг (стандартную удельную энергию тротила), любой, кроме авторов уточнения к релизу, получил бы не более 390, а не 500 кт, можно сделать вывод, что они так торопились, что забыли даже о законе сохранения энергии. Кроме того, сотрудники JPL должны были бы знать, что у таких небольших объектов энергия финального взрыва меньше их начальной кинетической энергии на входе в атмосферу вследствие рассеивания энергии на траектории. В данном случае при пологой траектории полета расчеты приводят к энергии взрыва не более 100 – 150 кт в тротиловом эквиваленте. При таком взрыве избыточные давления на ударной волне в Челябинске были бы, минимум, на 2 порядка ниже наблюдавшихся, и там совершенно не было бы никаких разрушений, см. раздел V данной работы.

Очевидно, что размер объекта инфразвуковыми станциями, которые фиксируют только атмосферные возмущения, напрямую определен быть не мог. Полная неразбериха с данными по энергии показывает, что в тот момент размер объекта не мог быть определен и через них. Поэтому остается единственный логически обоснованный вариант – авторы релиза заявили в качестве размера Челябинского объекта максимум того, что они считали не обнаруживаемым в ближайшем околоземном космическом пространстве современными оптическими автоматизированными системами слежения. Это вскоре было подтверждено «научным обоснованием» такого подхода, см. [8]. Однако никто из них в спешке не подумал, что этим системам недоступны околосолнечные ракурсы, а Челябинский объект заходил именно так – его линия входа была отклонена от направления на Солнце на угол всего лишь порядка  $10^\circ$  (см. [1 – 3]).

Спустя 2 месяца после инцидента представленный в газетной статье [9] как «крупнейший в мире специалист в области анализа инфразвуковых волн болидов» Питер Браун на 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» [10]. Таким образом, он публично признал, что его данные, которые были фактически единственным основанием версии NASA о параметрах Челябинского метеороида, оказались ошибочными. Примерно в то же время он заявил репортеру канадской газеты Стар Аллену, что инфразвуковая волна от взрыва метеороида была трижды зарегистрирована в Гренландии [9], то есть на инфразвуковой станции I18DK Международной системы мониторинга [11]. Это означает, что волна пробежала вдоль поверхности Земли не менее 85 тысяч километров [12]. После всего этого трудно себе представить как даже не «крупнейший в мире специалист», а просто человек, знакомый с основами логики и арифметики, мог спустя несколько месяцев снова написать в статье в журнале Nature, что энергия взрыва Челябинского метеороида составила  $500 \pm 100$  кт [5] при том, что при почти такой же длине пробега у инфразвуковой волны от крупнейшего рукотворного взрыва «Царь-бомбы» – боезаряда АН602 его энергия составила 58000 кт, то есть почти в 120 раз больше [13]! Возможно, правда, что он никогда и не слышал об

этом взрыве. Более точный и подробный анализ этой ситуации читатель может увидеть в работе [14], а простейший качественный анализ – в работе [15]. Повторять их здесь мы не будем.

### III. Яркость вспышки Челябинского метеороида

Более того, вскоре (в марте 2013 года) появились «дополнительные подтверждения» этой, как показывают расчеты, совершенно неадекватной оценки величины энергии взрыва Челябинского объекта – порядка 500 кт, см. [16]. Там через корреляцию между энергией световой вспышки и энергией самого взрыва (см. [17]) снова, как будто бы, были получены эти пресловутые 500 кт. Однако та корреляция из источника [17] только по одному параметру была проведена для энергий взрыва 0.1 – 1 кт, и вследствие того, что в реальности имеет место многопараметрическая зависимость, отличалась большими расхождениями между эмпирическими точками и корреляционной кривой. И эту ненадежную зависимость авторы работы [16] экстраполировали, как они полагали, на 3 порядка, а на самом деле даже на 5 (!). Очевидно, что вследствие некорректности такой экстраполяции с ее помощью можно получить абсолютно любые наперед заданные результаты.

По тому же пути пошли и авторы статей [5, 6]. Прямые измерения яркости вспышки Челябинского метеороида по понятным причинам не были проведены, поэтому авторам соответствующего раздела работы [6] ничего не оставалось, как использовать изображения, полученные с некоторого количества видеорегистраторов, в основном, автомобильных. Эти изображения создавались светом, отраженным различными твердыми поверхностями с неизвестными для вычислителей яркости коэффициентами отражения. К тому же, каковы были спектрально-яркостные характеристики по интенсивности света и длинам волн у этих видеорегистраторов, осталось неизвестным. Для того чтобы учесть влияние этих неопределенностей, авторами исследования [6] проводилась коррекция измерений по интенсивности света с помощью калибровки на произвольно выбранной камере (Medio x DVR100) по яркости Луны. Однако:

1. Коэффициенты отражения разных материалов в разных спектральных диапазонах и при различных углах отражения и яркостях должны изменяться. Неучет этого обстоятельства может привести к различию между расчетными результатами и реальными значениями яркости в разы.
2. Осредненная коррекция характеристик регистраторов при вспышке неизвестной яркости (но ясно, что очень большой и нерасчетной для регистраторов), в данной ситуации – это экстраполяция по экспоненте с неопределенными коэффициентами в очень широком диапазоне аргумента. Куда она может привести – ясно любому, кто пытался когда-нибудь это делать. Ошибки возможны в десятки и сотни раз. Причем, насколько эта экспонента описывает реальную чувствительность всех этих разнотипных видеорегистраторов – это тоже вопрос.
3. Калибровка кривой яркости на ее нижней границе [6] по источнику с интенсивностью света в миллионы или, возможно, в десятки миллионов раз меньшей, чем максимальная яркость вспышки – это операция, которая никак не связана с адекватным пересчетом данных по яркости на ее максимуме.
4. Изменение длины волны излучения при калибровке также может и должно повлиять на чувствительность датчиков. В интересующем нас случае максимум мощности сдвигается примерно с 0.3 мкм (свечение вспышки при температуре  $\sim 10^4$  К) на 0.5 мкм (отраженный Луной солнечный свет, спектральные характеристики которого соответствуют  $\sim 6 \cdot 10^3$  К).

Таким образом, попытки получить в работе [6] оценки абсолютной яркости вспышки Челябинского метеороида с приемлемой точностью в силу объективных обстоятельств, а также в связи с нежеланием или неспособностью лиц, их предпринимавших, провести действительно адекватные калибровки, коррекции и пересчеты, опирались на плохо верифицируемые и не задокументированные в статьях действия. А в работе [5] авторы только ссылаются на данные «правительственных сенсоров», проверить и проанализировать которые нельзя.

И, наконец, главное – в принципе невозможно, используя данные с видеокамер и регистраторов, получить правильную оценку интенсивности света, излучаемого вспышкой, яркость которой многократно превосходит яркость Солнца. Как известно, при фотографировании Солнца с помощью современных фотоаппаратов и видеокамер происходит соляризация – на изображении возникают фиолетовые или черные пятна вследствие так называемого пересвечивания соответствующих участков чувствительной матрицы. И подобный эффект можно наблюдать не только при наведении камеры на Солнце, но даже и на его отражение, например, в водах Днепра в окрестностях Херсона, см. рис. 1 [18].

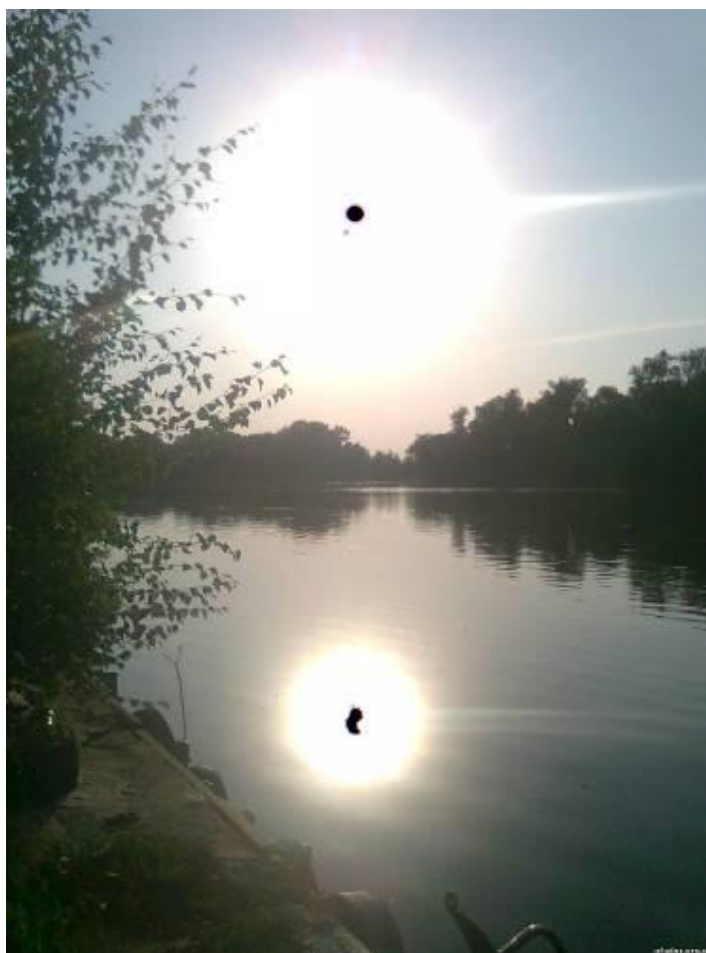


Рис. 1

В связи с этим, отметим, что пиковая абсолютная яркость вспышки (то есть яркость на расстоянии 100 км) при взрыве Челябинского объекта по данным источника [6] составила  $-27.3 \pm 0.5$  звездной величины (или магнитуды в терминах статей [5, 6]) и  $-28$  по данным сенсоров, «принадлежащих американскому правительству» [5]. Известно, что видимая звездная величина Солнца составляет  $-26.7$  [19], то есть его яркость в 1.7 – 3.3 раза ниже, чем у вспышки по данным из источников [5, 6]. По-видимому, вследствие того, что «правительственные», то есть военные, сенсоры находились дальше от взрыва, чем Челябинские видеокамеры и/или были более качественными, на них и была зарегистрирована большая яркость вспышки, однако, по указанным причинам, она вполне могла быть все же значительно ниже реальной.

По фотографии, представленной на рис. 1, можно оценить минимальную магнитуду свечения, при которой уже происходит пересвечивание обычных матриц. Угловая высота Солнца над Малым Потемкинским островом на Днепре [20] составляет около  $10^\circ$  (см. рис. 1). При этом яркость отраженного поверхностью воды света составляет около  $\frac{1}{3}$  от яркости прямого солнечного света [21], и тогда ее магнитуда близка к величине  $-25.5$ . Так как камеры, с помощью которых в источнике [6] определялась яркость вспышки, находились в Челябинске, то расстояние до точки максимума вспышки на высоте 31.7 км [6] составляло около 50 км, и яркость ее там была в 4 раза больше, чем на дистанции 100 км, на которой определяется абсолютная яркость. Так как эти камеры фиксировали отраженный свет, то его интенсивность могла быть на порядок ниже, чем прямого. Тогда магнитуда потока отраженного света была примерно на единицу выше, чем абсолютная яркость по данным источника [6], или на единицу ниже (около  $-26.5$ , примерно, как у Солнца), чем та магнитуда, на которой явно было зафиксировано пересвечивание матрицы фотоаппарата. Таким образом, из всего вышесказанного следует, что данные по максимальной яркости вспышки Челябинского метеороида получены видеокамерами, на которых происходило ее «обзвечение».

За день до годовщины взрыва Челябинского метеороида на местном телевизионном канале прозвучало сенсационное сообщение о том, что на одном из ранее не демонстрировавшихся видеороликов зафиксировано изображение тела, его вызвавшего [22]. Это темное пятнышко лучше видно на том же видеоролике, но выложенном на YouTube [23], см. кадр из него – рис. 2. Пятнышко наблюдается примерно в центре зоны засветки от взрыва в правом верхнем углу кадра. Совершенно очевидно, что оно – такой же, как и на рис. 1, результат пересвечивания матрицы камеры видеонаблюдения, и один из двух известных автору

данной статьи случаев фиксации этого явления на кадрах взрыва Челябинского метеороида. Этот факт снова и явно указывает на то, что видеокамеры работали тогда на пределе и за пределами зоны своих расчетных характеристик, и по изображениям, полученным от них, нельзя каким-либо способом определить яркость вспышки. Следовательно, данные по яркости, полученные в статьях [5, 6], не могут считаться достоверными из-за очень большой яркости вспышки. Поэтому, а также по причинам, указанным в начале этого раздела, оценки энергии взрыва метеороида на основе этих данных, тем более не могут приниматься во внимание.



Рис. 2

#### IV. Оценки избыточного давления на ударной волне по доле разбитых оконных стекол

Рассмотрим оценки избыточного давления на ударной волне, необходимого для массового разбития оконных стекол. В Аппендиксе статьи [6] говорится: «Величина перепада,  $\Delta p$ , необходимая для разбития оконных стекол зависит от толщины стекла и его площади». Это – совершенно верное утверждение, более того, нетрудно привести формулы, которые позволили бы заменить это качественное утверждение количественным. Кроме того, сильно влияют условия закрепления стекла в раме, направление подхода ударной волны, геометрия и ориентация здания, в котором эти окна расположены, а также топография окружающей местности и даже направление ветра. Так как в рамках большого города и еще нескольких городов и поселков меньшего масштаба нет никакой возможности учесть все эти факторы, остается только статистический подход к данному вопросу. А посему абстрактно верные утверждения коллектива авторов статьи [6] на проверку оказываются абсолютно пустыми сентенциями, не имеющими никакого отношения к решению поставленной задачи.

О чем же говорит статистика? Условие избыточного давления на ударной волне, необходимого для массового разбития оконных стекол прямо и непосредственно определяет масштаб взрыва, и это очевидно априори, без всяких расчетов, а из основных законов возникновения и распространения ударных волн. В модуль расчета взрывов и столкновений [4], 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» [24]. В соответствии с пособием МЧС России, разрушение остекления оконных проемов происходит при избыточном давлении 5 – 8 кПа [25]. Однако, в Википедии [26] сообщается, что почти все обычные стекла могут быть разбиты при перепаде давления на волне ~ 2 кПа со ссылкой на источник [27], где, впрочем, эти данные отсутствуют. Таким образом, перепад давления 5 кПа в первом приближении можно считать границей массового разбития оконных стекол». К этому следует добавить, что по данным фундаментальной многоотомной «Физики взрыва» [28] избыточное давление в падающей ударной волне, необходимое для

выбивания стекол, составляет 3.5 – 7 кПа, а по экспериментальным исследованиям 60-летней давности «возможны случаи разбития плохо закрепленных стекол» при 0.5 – 0.8 кПа [29].

Теперь процитируем Аппендикс из статьи [6]: «Эти величины (избыточного давления – авт.) не отличаются для окон России (большая часть подверженных удару зданий построена в XX столетии) и окон, расположенных в других местах. Гласстоун и Долан [30] оценивают перепад, необходимый для существенного разбития стекол примерно на уровне 3.5 – 5.0 кПа. Согласно Мэннену и Лизу [31], перепад давления  $\Delta p \sim 0.7$  кПа способен привести к разрушению 5 % стекол,  $\Delta p \sim 1.4$  кПа – к 50 %, а  $\Delta p \sim 3.5$  кПа вызывает разрушение примерно 90 % оконных стекол». Адекватность применения к рассматриваемой ситуации данных Мэннена и Лиза будет рассмотрена ниже, а пока отметим вывод из процитированных данных, который иначе как парадоксальным назвать нельзя: «Это позволяет утверждать, что величина  $\Delta p \sim 0.5$  кПа соответствует разрушению отдельных окон, а величина  $\Delta p \sim 1$  кПа приведет к их значительным разрушениям». Хотелось бы увидеть в процитированном ранее отрывке текста из источника [31] этот перепад давления – 0.5 кПа, но сколько автор в него не всматривался, сделать это ему так не удалось. Справедливости ради стоит упомянуть, что в неизвестном авторам статьи [6] источнике [29], как было сказано выше, все же говорится об уровне давления на волне 0.5 – 0.8 кПа *как о крайнем нижнем пределе разбития некоторых плохо закрепленных стекол*, однако за прошедшие с тех пор 60 лет культура закрепления стекол на пространствах бывшего Советского Союза, кажется, все же несколько выросла.

Итак, по Гласстоуну и Долану «существенные», что можно интерпретировать достаточно вольно, а даже не «массовые» разбития стекол происходят при избыточном давлении на ударной волне в 3.5 – 5 кПа, что, пожалуй, вполне согласуется со всеми, приведенными выше источниками, кроме источника [31]. Только Мэннен и Лиз явно выбиваются из общего ряда, и только их данные, причем без всяких объяснений еще дополнительно уменьшенные раза в полтора, используются в статье [6]. При этом вопрос, почему Мэннен и Лиз заявляют уровни разрушающего стекла давления заметно ниже, чем в любых других источниках, решается совершенно элементарно. Эти данные приводятся в третьем, уже посмертном для Фрэнка Лиза, издании известной на Западе книги по предотвращению катастрофических ситуаций в промышленности. И сам Лиз, и Сэм Мэннен – редактор третьего издания книги, на которое ссылаются в Аппендиксе [6], являлись инженерами-химиками на крупных нефтехимических производствах. И речь у них идет о воздействии не точечных, а объемных взрывов внутри или вокруг помещений, так как именно такие условия создаются при утечках и взрывах нефтехимических продуктов.

Это совершенно явно следует из пассажа «... $\Delta p \sim 3.5$  кПа вызывает разрушение 90 % оконных стекол». В случае внутреннего взрыва стекла вылетают во все 4 стороны более-менее одинаково и легко представить даже стопроцентное разбитие стекол при совершенно целых стенах. Однако, если же достаточно сильная внешняя ударная волна от удаленного источника набегаем на здание с одной стороны и не разрушает его полностью, то ни о каких 90 % выбитых стекол даже при большом значении  $\Delta p$  говорить не приходится. Эта волна может выбить все стекла на фронтальной стороне здания и некоторое количество на боковых его сторонах, то есть, всего, максимум, 30 – 40 % (на тыльной стороне здания стекла, в основном, должны остаться целыми). Таким образом, против большого набора разнообразных источников по воздействию внешней ударной волны на стекла используется один источник, относящийся к совершенно иному явлению – внутреннему и/или объемному взрыву. И даже его данные по давлению – 90 % при 3.5 кПа (то есть не более процентов 30 – 40 при внешнем «одностороннем» воздействии), и 5 % при 0.7 кПа (то есть, максимум, порядка 5/4 ~ 1 % при внешнем воздействии) сильно занижаются. И сколько тогда будет при 0.5 кПа – не получится ли при экстраполяции отрицательная величина? Можно ли это все не видеть, не закрыв глаза специально?

В последующем разделе данной статьи приводятся реальные данные о разбитых и не разбитых низковысотными термоядерными взрывами стеклах при уровне перепада давления на волне порядка 0.5 – 2 кПа. В центральном поселке ядерщиков-испытателей Новой Земли – Белушьей Губе при взрыве «Царь-бомбы» и перепаде на волне 1 кПа все стекла были совершенно целы. В аналогичном пункте «М» Семипалатинского полигона (ныне городе Курчатова) при избыточном давлении не ниже 1.5 кПа после взрыва РДС-37 также не известно о разбитых стеклах, хотя в окрестных казахских аулах при несколько больших уровнях давления подобные казусы происходили (см. далее).

Тем не менее, авторы статьи [6] приняли перепад 0.5 кПа в качестве границы разбития стекол, и из него вывели, причем, как показано ниже, с очень грубой тридцатикратной (!) ошибкой, уровень энергии взрыва Челябинского метеороида, чтобы, получить нужную им не вполне понятно из каких соображений величину, не большую, чем 300 кт. И при этом, они все равно не смогли «дотянуть» границу зоны разрушения до некоторых населенных пунктов с разбитыми стеклами. После всего, что описано выше, видимо, уже не стоит и упоминать о том, что при имевшей место быть траектории полета метеороида из 300 кт (или, все же из 500 кт?) исходной кинетической энергии на сам взрыв осталось бы только около 100 – 150 кт.

К этому надо добавить, что после вполне определенных результатов работы [5], из которых следует, что уровень избыточного давления на ударной волне в районе Челябинского цинкового завода при взрыве метеороида составил 7 – 8 кПа – по крайней мере, для этого инцидента данный вопрос в значительной мере утратил свою остроту и актуальность, так как эти данные окончательно расставили все по своим местам (см. [2, 3]). Разрушенное здание склада цинкового завода, рухнувшая несущая балка, еще несколько погнутых балок и вырванная из фасада обшивка в расположенном неподалеку ледовом дворце «Уральская молния», а также выбитые ударной волной несколько ворот в Челябинске и Южно-Уральске [1], являются наглядной демонстрацией достоверности этих оценок из источника [5].

## **V. Расчет избыточного давления на ударной волне**

Определим теперь расчетный перепад давления на ударной волне. Очевидно, что есть огромные расхождения в результатах его вычислений в работах [1 – 3] и [6], и следует определить, в каком случае результаты расчетов соответствуют реальности. Сначала удостоверимся, что метод расчета [1 – 3] приводит к адекватным данным. Для этого проведем с его помощью вычисления давления на ударной волне в тех нескольких случаях, когда об этом параметре имеются достаточно определенные экспериментальные и/или иные данные.

### **V. 1 – Верификация используемого метода путем расчетов параметров трех термоядерных взрывов**

Как уже упоминалось ранее, физическая природа взрыва играет незначительную роль в формировании и развитии вызванной им ударной волны [14]. Под взрывом здесь понимается любое выделение значительного количества энергии за время, существенно меньшее, чем характерное время вызванного им процесса распространения возмущений в ближней области окружающей зону процесса сплошной среды. Если условия, при которых происходят взрывы, одинаковы, то и возмущения (ударные волны) распространяются от них в атмосфере практически одинаково вне зависимости от того, являлся ли взрыв термоядерным, был ли он вызван входом в атмосферу небесного тела или взрывным извержением вулкана. Этому способствует также упрощенное – «точечное» и «квазистатическое» рассмотрение взрывного распада небесных тел в программном модуле расчета воздушных взрывов таких объектов [4], которое в данной ситуации оказывается уже не недостатком, а своеобразным достоинством, позволяя оценивать с его помощью результаты воздействия на подстилающую поверхность любых «воздушных» взрывов – от термоядерных до вулканических. Необходимо только рассчитать вход в атмосферу некоего «виртуального метеороида», распад которого приводит к взрыву с заданной энергией на заданной высоте. Этот простой приближенный полуматематический модуль с помощью метода «виртуальных метеороидов» можно использовать для оценок влияния на подстилающую поверхность взрывов любой природы при условии того, что дистанция, на которой происходит оценка, много больше размера взрывающегося объекта.

Используя результаты, ранее полученные в работах [3, 14], а также результаты расчетов, специально проведенных для верификации метода, рассмотрим 6 реально случившихся событий: взрыв вулкана Кракатау, падения Челябинского и Тунгусского метеороидов и 3 взрыва термоядерных устройств. К ним относятся: АН602 («Царь-бомба»), РДС-37 (первый советский двухступенчатый термоядерный заряд, ставший прародителем всех ядерных вооружений СССР и России), а также его американский аналог (с точки зрения конструкции, но не его важности для американских ядерных вооружений) – термоядерный заряд Квеста, о взрыве которого автору стало известно несколько больше, чем о других американских взрывах такого же уровня мощности. При этом его энергия была близка к тем значениям энергии взрыва Челябинского метеороида, которые сейчас приписываются ему большинством исследователей этого явления. Два рассмотренных советских термоядерных устройства являлись «культовыми» для представителей советской атомной промышленности, и, поэтому, несмотря на секретность первичных материалов по этим боезарядам, существует большое количество открытых источников, из которых можно получить всю информацию, необходимую для проведения с ее помощью верификации метода, описанного в статьях [1 – 3, 14].

Кроме того, что имеются данные о разрушениях (или об их отсутствии) при взрывах этих трех термоядерных зарядов, позволяющие оценить уровни давления на ударной волне в некоторых точках земной поверхности, эти взрывы удобны еще и тем, что для их оценки, как и для любых крупных низковысотных взрывов, можно использовать так называемую формулу Садовского. Она является интерполяцией по параметру подобия, приведенному радиусу  $\xi$ , экспериментальных данных, полученных, в том числе, и при таких взрывах, и является апробированным и широко признанным способом определения избыточного давления на волне от взрыва [28]:

$$\Delta p = a\xi^{-1} + b\xi^{-2} + c\xi^{-3}, \quad (1)$$

$$\xi = RE_e^{-\frac{1}{3}},$$

где  $\Delta p$  – избыточное давления на ударной волне от взрыва с энергией  $E_e$  в тротиловом эквиваленте (то есть, по существу,  $E_e$  – это эквивалентная масса тротила) в некоторой точке,  $R$  – расстояние от центра взрыва до этой точки,  $a$ ,  $b$  и  $c$  – эмпирические коэффициенты.

Формула справедлива для взрывов в однородной атмосфере. Характерный масштаб неоднородности земной атмосферы по вертикали – порядка 8 км [28], поэтому, строго говоря, для особо мощных или высотных взрывов, таких, как, например, взрыв вулкана Кракатау или Челябинского метеороида, ее применять, по-видимому, уже нельзя. Высота взрыва  $H$  в представленном здесь варианте формулы может влиять на результат только через увеличение радиуса  $R$  по сравнению с расстоянием от эпицентра  $L$ , что при низковысотных взрывах вполне можно учесть по теореме Пифагора, не принимая во внимание кривизну поверхности Земли. Несмотря на все эти ограничения в применимости, приближенная формула (1) сразу позволяет выявить значительные ошибки в более сложных и изощренных расчетах, если таковые имеют место.

Коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$  представляют собой значения, получаемые статистической обработкой результатов экспериментальных данных, и неоднократно корректировались по мере накопления информации. Наиболее часто встречающиеся значения этих коэффициентов для воздушных (сферически симметричных) взрывов – те, которые были получены самим М. А. Садовским из экспериментов с тротилом:  $a = 84$ ,  $b = 270$ ,  $c = 700$  при массе заряда в килограммах, радиусе в метрах и давлении в килопаскалях (или в при «энергии»  $E_e$  в мегатоннах тротилового эквивалента и радиусе  $R$  в километрах). При этом указанные значения коэффициентов определялись при  $1 < \xi < 10$  (размерность  $\xi$  –  $\text{м} \cdot \text{кг}^{-1/3}$  или  $\text{км} \cdot \text{Мт}^{-1/3}$ ), то есть, примерно, при  $1 \text{ МПа} > \Delta p > 10 \text{ кПа}$ , что соответствует уровням избыточного давления в основной зоне разрушений зданий и сооружений, наиболее важной для военной теории и практики.

Однако, эти уровни давления значительно выше тех, что интересуют нас в связи с рассмотрением статистики по разбитым стеклам. Поэтому целесообразно получить эмпирические коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$  в диапазоне давлений  $8 \text{ кПа} > \Delta p > 0.3 \text{ кПа}$ . Кроме того, нас интересуют термоядерные взрывы, а в них на создание ударной волны идет только около половины энергии. Поэтому значения коэффициентов в формуле (1) должны быть уменьшены соответствующим образом для того, чтобы учесть это обстоятельство [32]. Но, с другой стороны, при таких значениях  $\xi$  взрыв становится уже фактически не воздушным, а наземным, так как его энергия распространяется только в полупространстве, ограниченном снизу земной поверхностью. Вследствие этого обстоятельства значения коэффициентов в формуле (1) должны быть увеличены, чтобы соответствовать практически удвоенной энергии взрыва [28, 32]. В итоге получается, что интересующие нас эмпирические коэффициенты, необходимые для точной аппроксимации зависимости  $\Delta p(\xi)$  в рассматриваемом диапазоне, в целом, могут измениться не слишком значительно.

Есть также возможность приближенно учесть высоту взрыва. Для этого можно использовать так называемую обобщенную формулу Садовского [33]:

$$\Delta p = a \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{3}} \xi^{-1} + b \left( \frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{3}} \xi^{-2} + c \xi^{-3}, \quad (2)$$

где  $p$  – давление воздуха на высоте взрыва,  $p_0$  – давление на уровне моря. По-видимому, применимость формулы (2) к высотным взрывам в атмосфере серьезно не проверялась, но для оценок низковысотных взрывов ее вполне можно использовать.

В связи со всеми этими обстоятельствами было проведено сопоставление расчетных данных, полученных методом «виртуальных метеороидов» с аппроксимациями по формуле Садовского. Сравнение проводилось с помощью метода наименьших квадратов в 9 точках – по 3 на каждый из трех указанных выше термоядерных боезарядов. Сначала использовалась формула (1) с коэффициентами для воздушного взрыва тротила, указанными выше. Было найдено, что среднеквадратичное отклонение давлений, вычисленных этими двумя способами, составило около 12.5 % (при этом следует отметить, что формула Садовского использовалась за пределами области ее применимости).

В последующих расчетах применялась формула (2) для учета высоты взрывов, и искались эмпирические коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$ , наилучшим образом аппроксимирующие результаты метода «виртуальных метеороидов». Давление на высоте взрыва определялось с помощью интерактивного калькулятора стандартной атмосферы [34]. При этом среднеквадратичное отклонение результатов уменьшилось почти в 2



раза – до 6.5 %, а эмпирические коэффициенты в диапазоне  $15 < \xi < 300$  ( $\sim 8 \text{ кПа} > p > 0.3 \text{ кПа}$ ) оказались следующими:  $a = 86.5$ ,  $b = 285$ ,  $c = 4900$ , то есть параметры  $a$  и  $b$  изменились незначительно, и только коэффициент  $c$ , который в этом диапазоне параметров в наименьшей степени влияет на результат, заметно возрос. Однако, сами величины давления изменились не более чем на несколько процентов, что видно хотя бы из сопоставления среднеквадратичных отклонений в этих двух рассмотренных вариантах вычислений.

В таблице 1 показаны: var – вариант расчета,  $E_e$  – энергия взрыва боезаряда в мегатоннах тротилового эквивалента,  $H$  – высота взрыва в километрах,  $p$  – перепад давления (избыточное давление) на ударной волне в килопаскалях на удалении  $L$  от эпицентра взрыва, измеренном в километрах вдоль поверхности земли и указанном в столбце слева от того столбца, где приведены значения перепадов давления. Строки в таблице двоянные – первая из пары соответствует расчету давлений по методу «виртуальных метеороидов» на основе интерактивного программного модуля [4], вторая (записанная косым шрифтом) – оценке по формуле Садовского (2) с коэффициентами, значения которых приведены в предыдущем абзаце.

Таблица 1

var	$E_e$ (Мт)	$H$ (км)	$L_1$ (км)	$p_1$ (кПа)	$L_2$ (км)	$p_2$ (кПа)	$L_3$ (км)	$p_3$ (кПа)
<b>РДС-37-1</b>	1.6	1.55	54.5	1.7	61.5	1.5	175	0.48
<i>РДС-37-2</i>	<i>1.6</i>	<i>1.55</i>	<i>54.5</i>	<i>1.8</i>	<i>61.5</i>	<i>1.6</i>	<i>175</i>	<i>0.52</i>
<b>Квеста-1</b>	0.67	1.60	24	3.5	47.5	1.6	55	1.3
<i>Квеста-2</i>	<i>0.67</i>	<i>1.60</i>	<i>24</i>	<i>3.4</i>	<i>47.5</i>	<i>1.5</i>	<i>55</i>	<i>1.3</i>
<b>АН602-1</b>	58.0	4.20	53.5	7.5	267	1.0	810	0.33
<i>АН602-2</i>	<i>58.0</i>	<i>4.20</i>	<i>53.5</i>	<i>7.5</i>	<i>267</i>	<i>0.95</i>	<i>810</i>	<i>0.30</i>

Из всего описанного выше следует, что любой адекватный ситуации вариант формулы Садовского в рассматриваемом диапазоне давлений  $0.3 \text{ кПа} < p < 8 \text{ кПа}$  приводит к рассогласованию с расчетами по методу «виртуальных метеороидов», в основном, в пределах 10 %. Наилучшее согласование, естественно, было получено тогда, когда аппроксимационные коэффициенты вычислялись по данным той же области, в которой и производилось сравнение, но различия результатов обоих вариантов невелики.

Кроме всего прочего, дистанции от эпицентра взрыва, указанные в таблице 1 до почти всех рассматриваемых там точек (кроме одной крайней точки Квесты), являются такими, что в них можно сделать оценки избыточного давления на волне по имеющимся экспериментальным данным. Опишем их вкратце.

**РДС-37** (координаты взрыва в точке П-5 Опытного поля –  $50.53^\circ$  с. ш.,  $77.75^\circ$  в. д. [35, 36]):

1. Дистанция 54.5 км – это расстояние от точки П-5 до поселка Майский, в котором получили ранения осколками стекол часть из 26 человек, пострадавших при взрыве в этом и в соседних несколько более удаленных (до 57 км) населенных пунктах [36]. В нищих советских казахских аулах наверняка было достаточное количество не слишком хорошо закрепленных или просто дешевых и очень тонких стекол, которые могли разбиться при уровне перепада давления на волне 1.7 – 1.8 кПа и порезать при этом несколько десятков человек.
2. Дистанция 61.5 км – расстояние от эпицентра взрыва до пункта «М» (места базирования участников испытаний), который сейчас является городом под названием Курчатов. Там при перепаде давления 1.5 – 1.6 кПа не было ни одного раненого, но отмечены повреждения элементов зданий [36].
3. Дистанция 175 км – расстояние до западных окраин Семипалатинска (ныне – город Семей). Там, по сообщениям местных властей, снова были разбиты стекла и 16 раненых [36]. Как следует из источника [29], при соответствующем состоянии городского хозяйства такое, видимо, все-таки, возможно, даже при перепаде давления около 0.5 кПа.

**Квеста** (координаты точки взрыва – примерно  $1.47^\circ$  с. ш.,  $157.20^\circ$  з. д. [37]):

1. Дистанция 24 км – это расстояние от эпицентра взрыва до ближайшей точки побережья острова Рождества (сейчас Киритимати). При уровне перепада давления на ударной волне 3.5 кПа можно было не ожидать какого-либо заметного ущерба кустарнику и зарослям суриана во внутренних лагунах острова в районе этого побережья.
2. Дистанция 47.5 – 55 км – это расстояние до места сбора участников этого эксперимента на аэродроме на северном берегу острова, состояние которых в тот момент изображено на фотографиях, представленных в источнике [38]. Оно вполне соответствовало уровню избыточного

давления около 1.3 – 1.6 кПа – все крепко стоят на своих ногах и не испытывают ни в чем никаких проблем, наблюдая за взрывом. Отметим, что в Челябинске при стратосферном взрыве якобы вдвое меньшей мощности и при примерно аналогичных расстояниях от центра взрыва до центра города оказалось более 1600 раненых [6]. При этом, если бы Квеста взорвалась на высоте 28 км, как Челябинский метеороид, то максимальные давления на этих расстояниях были бы близки к 0.2 кПа.

**АН602** (координаты точки взрыва на площадке Д-2 Новоземельского испытательного полигона – 73.85° с. ш., 54.50° в. д. [13]):

1. Дистанция 53.5 км – это расстояние от эпицентра взрыва до поселка Лагерный (около 73.39° с. ш., 54.74° в. д.) который был построен летом 1955 года на южном берегу пролива Маточкин Шар для переселения туда всех охотников-промысловиков Новой Земли в связи с открытием Новоземельского испытательного полигона [29]. К осени 1961 года все жители поселка были отсюда эвакуированы, а сам поселок, застроенный стандартными щитовыми домиками, был полностью разрушен при испытаниях 30 октября 1961 года боезаряда АН602. «Остались стоять лишь только кирпичные трубы, да баня, построенная шахтерами еще в 1959 году из толстых бревен, на берегу речушки Шумилихи» [39]. Потом на этом месте был заново выстроен поселок Северный (см. левый нижний край рис. 3 [40]). Казалось бы, что расчетный перепад давления на ударной волне около 7.5 кПа (см. две последние строки таблицы 1) совершенно не соответствует наблюдавшимся при взрыве разрушениям. И это действительно так.



Рис. 3

Пролив Маточкин Шар представляет собой щель шириной здесь в 2.3 км в горах высотой не менее 600 – 700 м, с обеих сторон окружающих его. Ось пролива практически перпендикулярна направлению распространения ударной волны от взрыва заряда АН602. С запада от поселка горный хребет прорезает узкая и длинная долина реки Шумилихи, см. рис. 3 (осыпи, перекрывающей долину поперек и расположенной в центре изображения, тогда еще не существовало, она возникла позже в результате одного подземного термоядерного испытания). Прямая ударная волна от низковисотного взрыва на северном склоне берега пролива развернулась, стала косой, и тут же была вынуждена нерегулярно отразиться от водной поверхности, снова образовав прямую «Маховскую ножку» [41], а выше – лидирующую косую ударную волну. Эта косая волна должна была приблизительно по нормали отразиться от склонов южного берега пролива, создавая интерференцию набегающих и отраженных от склонов южного берега пролива ударных волн. Более того, косое отражение этих волн от западного склона долины реки Шумилихи (см. на правый край

рис. 3) с переотражением от ее восточного склона должно было свести вместе ударные волны к побережью в окрестности ее устья. Поэтому реальные давления при этой мешанине падающих, отраженных и переотраженных ударных волн могли в несколько раз превышать номинальный уровень перепада давления в набегающей волне.

Можно здесь указать также на то, что даже для существенно более простого случая интерференции стационарных ударных волн, образующих так называемый «мостообразный скачок уплотнения» – структуру, состоящую из двух зеркально отраженных «Маховских ножек», было получено 6 – 7-кратное увеличение давления [42]. И надо сказать, что приблизительно треугольная в поперечном сечении долина реки Шумилихи вызывает у автора этой статьи определенные ассоциации с той аэродинамической структурой, в которой мог быть реализован мостообразный скачок. Похоже, что на рис. 3 мы видим самое худшее место из всех возможных мест для строительства поселка на Новой Земле при осуществлении воздушных термоядерных взрывов на площадке Д-2 (не считая, конечно, самой площадки), так как уровень давления в 30 – 40 кПа, который вполне можно было ожидать в этом месте из-за интерференции волн от очень мощных взрывов, плохо способствует сохранению там обычных жилых домов, а не капониров. Только после перехода на полигоне исключительно к подземным взрывам здесь снова можно было начинать строить, что тут же и было сделано.

2. Дистанция 267 км – расстояние от эпицентра взрыва АН602 до главного населенного пункта Новоземельского испытательного полигона – поселка Белушья Губа и соседнего аэродрома Рогачёво. «В Белушье и Рогачёве все было нормально. В этих гарнизонах и на кораблях никто не пострадал (при номинальном перепаде давления около 1 кПа это было и не удивительно – авт.), но от стрессовых состояний при взрыве несколько человек были госпитализированы» [39].
3. Дистанция 810 км – расстояние до острова и поселка Диксон. «С Диксона ... пост доложил, что взрыв был виден, и внезапно до них дошла небольшой силы воздушная ударная волна, в нескольких домах потрескались оконные стекла. Через день восстановительная партия вставила все оконные стекла – даже те, которые были выбиты раньше до испытаний» [39]. Расчетный перепад давления на ударной волне составил там около 0.3 – 0.35 кПа (см. таблицу 1), что ниже нижнего предела разбития стекол. Возможно, какие-то особенности местной топографии или строительного искусства способствовали там росту давления на волне до этого нижнего предела. Но, также возможно, что на Диксоне просто воспользовались нештатной ситуацией для проведения внепланового ремонта окон за счет полигона.

В целом из рассмотренных данных по мощным низковысотным термоядерным взрывам можно сделать вывод о том, что используемый алгоритм [4] приводит к вполне адекватным результатам, хорошо согласующимся с оценками как по формуле Садовского, так и с наблюдавшимися в реальности эффектами.

## V. 2 – Верификация используемого метода путем расчетов параметров трех природных инцидентов

Перейдем теперь к рассмотрению трех природных катастроф – тепловых взрывов вулкана Кракатау и Тунгусского и Челябинского метеороидов. Коэффициенты в обобщенной формуле Садовского (2) были получены при аппроксимации данных по низковысотным взрывам, поэтому на больших высотах погрешности при ее использовании могут быть довольно велики (что и показано далее в разделе V. 3), да и многие расчетные точки, рассмотренные ниже, лежат за пределами ее применимости при используемых эмпирических коэффициентах. Поэтому просто сравним полученные расчетные результаты с наблюдаемыми. Данные представлены в таблице 2, параметры в ней совершенно аналогичны тем, что были показаны в таблице 1.

Таблица 2

var	$E_c$ (Мт)	H (км)	$L_1$ (км)	$p_1$ (кПа)	$L_2$ (км)	$p_2$ (кПа)	$L_3$ (км)	$p_3$ (кПа)
Кракатау	1090	1.50	50	30.0	130	6.5	155	5.1
ТМ	14.4	8.25	20	30.0	30	15.2	64	4.9
ЧМ	56.8	28.2	0	11.1	39.5	7.5	80	5.0

**Кракатау:** (координаты точки взрыва – 6.10° с. ш., 105.42° в. д. [43]):

1. Дистанция 50 км – это расстояние от эпицентра взрыва до границы сплошного лесоповала на ровной местности в джунглях на обоих берегах Зондского пролива (см. [14]), то есть до достижения уровня избыточного давления на ударной волне 30 кПа.

2. Дистанция 130 км – расстояние до зоны разбития почти всех стекол и повреждения легких тропических крыш и дверей [14].
3. Дистанция 155 км – расстояние до европейского селтльмента Батавии, в котором многие стекла были разбиты [14] – что приводит к уровню избыточного давления около 5 кПа.

Отметим, что одновременное использование в расчетах трех дистанций до некоторых уровней перепада давления на волне, которые сами по себе были получены, естественно, с определенным допуском, приводит к перекрестному контролю точности их определения. Кроме того, адекватность полученных результатов по Крака тау подтверждают и акустические оценки [14].

**Тунгусский метеороид (ТМ):** (координаты точки взрыва – 60.89° с. ш., 101.90° в. д. [1 – 3]):

1. Дистанция 20 км – это расстояние от эпицентра взрыва до границы сплошного лесоповала на равнине в тайге (см. [1]), то есть до достижения уровня перепада давления на ударной волне 30 кПа.
2. Дистанция 30 км – расстояние до стоянки двух братьев-эвенков, о которых стало известно исследователям Тунгусского феномена. По свидетельствам охотников, ударная волна разрушила их чум, повалила их на землю, и им, заваленным остатками чума, «слышно было, как лесины падали» [44]. Известно, что уровень давления 15 кПа – «граница района многочисленных травм от падения» и вывала «около 30 % деревьев» [26]. Как правило, охотники-таежники умеют падать, и вообще они, обычно, более подготовлены к неожиданностям, чем типичный горожанин, поэтому, даже падение одного из братьев в зажженный очаг к серьезным травмам и ожогам не привело, несмотря на то, что «деревья вокруг горели».
3. Дистанция 64 км – расстояние до ближайшего к эпицентру взрыва населенного пункта – фактории Ванавара. Очевидцы, жители Ванавары, сообщали следующее: «По том оказалось, что многие стекла в окнах выбиты» [44]. Это свидетельствует об уровне перепада давления на волне около 5 кПа, что согласуется с расчетными значениями.

Кроме того, для этого инцидента существует хорошее согласование расчетной энергии взрыва метеороида –  $E_e = 14.4 \text{ Мт}$  [2, 3] с данными, полученными по сейсмограммам –  $E_e = 12.5 \pm 2.5 \text{ Мт}$  и по барограммам –  $E_e = 12 \pm 2.5 \text{ Мт}$  [45], а также по высоте взрыва – 8.25 км [2, 3] и 8.5 км [46].

**Челябинский метеороид (ЧМ):** (координаты точки взрыва – 54.87° с. ш., 61.20° в. д., отличается от ранее рассмотренных случаев большой высотой взрыва, произошедшего в стратосфере, что приводит к качественным отличиям от низковысотных взрывов по воздействию на подстилающую поверхность до тех пор, пока отражение ударной волны от нее не станет маховским [2, 3]):

1. Дистанция 0 соответствует точке на земной поверхности непосредственно под центром взрыва. Недалеко от нее располагался поселок Первомайский, подавляющее число домов в котором, даже многоэтажные, судя по спутниковым фотографиям, имеют двух или четырехскатные, а не плоские крыши. В этом случае реальное давление на этих крышах от взрыва почти в зените значительно уменьшается по сравнению с номинальной расчетной величиной, равной, примерно, 11 кПа (см. значение  $p_1$  в последней строке таблицы 2). Те несколько домов поселка, у которых крыши – плоские, также выдержали этот перепад давления, что неудивительно, так как только расчетная снеговая нагрузка на плоскую крышу при типичном для строительства коэффициенте запаса 3 в третьей – четвертой снеговых зонах, характерных для Челябинской области, составляет 5.4 – 7.2 кПа [47]. Вследствие того, что ударная волна в районе эпицентра двигалась, в целом, сверху вниз параллельно стенам, избыточное давление на них было значительно меньше номинального, и число разбитых стекол там должно быть не чрезмерно велико [2, 3], что и наблюдалось в реальности [6].
2. Дистанция 39.5 км – расстояние до Челябинского цинкового завода, в окрестностях которого перепад на ударной волне составил  $7.5 \pm 0.5 \text{ кПа}$  [5]. На такой дистанции уже реализовалось маховское отражение, которое превратило косую волну у земли в прямую, как у низковысотных взрывов. Именно это позволяет использовать данные по разбитым стеклам из района завода для сравнения с данными от низковысотных термоядерных взрывов [2, 3].
3. Дистанция 80 км – радиус, при котором площадь эквивалентной круговой зоны приблизительно равна площади реальной зоны разбития стекол в значительных количествах [2, 3].

Акустические оценки также подтверждают значения энергий взрывов обоих рассмотренных метеороидов [14].

Итак, анализ 6 катастрофических инцидентов показал, что модуль расчета воздушных взрывов [4], несмотря на упрощенность используемой в нем модели явления описывает их вполне адекватно и с приемлемой степенью точности. Поэтому он может использоваться для оценки адекватности результатов, полученных другими методами.

### V. 3 – Демонстрация неадекватности расчета параметров взрыва Челябинского метеороида гидродинамическим кодом SOVA

Используем метод [4] для того, чтобы понять, насколько результаты расчетов с помощью численного гидродинамического кода SOVA [48], применяемого в работе [6], соответствуют реальности. В таблице 3 (обозначения те же, что и ранее) приведены расчеты варианта взрыва Челябинского метеороида в представлении авторов работы [6] – выделение энергии, равной 300 кт в тротиловом эквиваленте, в точке на высоте 31.7 км (Case 300-1). Вариант взрыва, рассчитанный методом «виртуальных метеороидов», показан под аналогичным индексом, только оканчивающимся цифрой 2 – Case 300-2. Несмотря на заведомую неточность использования формулы (2) для взрыва на такой большой высоте, приведены также и результаты расчета варианта (Case 300-3) по обобщенной формуле Садовского с коэффициентами для воздушного взрыва, соответствующими уменьшению вдвое энергии, вызывающей ударные волны, вследствие удвоения объема, в котором они распространяются (см. [28]):  $a = 68.5$ ,  $b = 180$ ,  $c = 2450$ .

Таблица 3

var	$E_e$ (кт)	H (км)	$L_1$ (км)	$p_1$ (кПа)	$L_2$ (км)	$p_2$ (кПа)	$L_3$ (км)	$p_3$ (кПа)
Case 300-1	300	31.7	0	2.6	25	2.1	50	0.95
Case 300-2	300	31.7	0	0.086	25	0.082	50	0.077
Case 300-3	300	31.7	0	0.10	25	0.070	50	0.042
Case 300-4	300	0	0	–	25	2.0	50	0.96
Case 500	500	29.5	0	0.18	25	0.11	50	0.065

Сравнение вариантов, рассчитанных для высоты взрыва 31.7 км, показывает, что перепады давления на ударной волне, полученные с помощью численного кода SOVA, приводят к завышению этого параметра в 12 – 30 раз. Расхождения между двумя другими приближенными методами составляют в разных точках от 15 % до 45 %, что вполне ожидаемо. Но в целом, расчет по формуле (2) подтверждает уровни давления, полученные методом «виртуальных метеороидов». Уровень избыточного давления на ударной волне, рассчитанный с помощью кода SOVA, получается по формуле Садовского только при нулевой высоте взрыва (см. вариант Case 300-4). Другие варианты взрывов метеороида, представленные в [6], отличаются распределением энергии по траектории, что влияет на форму пятна зоны разрушений, но не на уровень давлений, который остается близким к их значениям из варианта Case 300-1. А ведь не только из формул, но и из практики известно, что при высотах взрыва уже около 40 км «ударная волна почти не образуется» [28].

Более того, существует явление, называемое «прорывом атмосферы». В неоднородной атмосфере ударная волна при движении вверх, в сторону резкого снижения плотности, не тормозится, а даже ускоряется, уходя вверх на «бесконечность» за конечное время, и «прорывая» атмосферу. Из огромной чашеобразной полости, образованной взрывом, воздух буквально вытекает в космос, а в самой полости давление падает почти до 0, и движение ударной волны вниз прекращается [49]. Все это происходит, когда избыточное давление на ударной волне на длине характерной неоднородности атмосферы (около 8 км для Земли) на 2 порядка превышает атмосферное на уровне взрыва. При этом вниз волна успевает пройти до момента прорыва атмосферы сверху на расстояние порядка двух длин характерной неоднородности [49]. Основанные на этой теории оценки показывают, что при энергии точечного взрыва 57 Мт, как у Челябинского метеороида, нижняя по высоте граница прорыва атмосферы как раз находится на уровне 31.5 – 32 км. Так что более изощренная теория, чем простая аппроксимация эмпирических данных, показывает, что при высоте взрыва из источника [6], даже на 2 порядка более мощный взрыв не смог бы создать на поверхности земли сколько-нибудь заметное избыточное давление.

Последняя в таблице 3 оценка перепада давления на волне по формуле (2) – Case 500 приведена для варианта воздушного взрыва метеороида из источника [5]. Увеличение энергии взрыва до 500 кт и снижение его высоты на 2.2 км приводит к росту давлений в 1.5 – 1.8 раза. Однако качественно ничего не меняется, уровень возмущений остается тем же, а до избыточного давления на волне, равного 7 – 8 кПа на расстоянии около 40 км от эпицентра (см. раздел 4 – «Airblast Damage – Measurements and Analysis» в Аппендиксе той же работы [5]) не хватает двух порядков.

Таким образом, мы видим гигантские расхождения между результатами расчетов уровней избыточного давления при взрыве Челябинского метеороида, представленными в статье [6], и реальностью. И, поэтому,

все данные по энергии Челябинского метеороида в статьях [5, 6] также являются абсолютно мифическими. Эти завышенные, минимум, на 1 – 1.5 порядка величины расчетного избыточного давления на волне в сочетании с заниженными (только в работе [6]) на 0.5 – 1 порядок данными по разбитым стеклам, создают совершенно искаженную картину произошедшего явления, в которой энергия взрыва ниже реальной на 2 с лишним порядка. И на этот раз, в отличие от оценок яркости вспышки Челябинского метеороида уже нельзя отрицать целенаправленную подгонку результата проведенную так называемым Консорциумом Челябинского воздушного взрыва под заранее заданную величину – доказательства этому из разделов IV и V данной работы представляются совершенно неопровержимыми. В то же время, в работе [5] такой явный умысел замечен не был – по-видимому, там необходимые оценки просто не были сделаны, а сделанные не были осмыслены и потому оказались ошибочными.

## VI. Масса следа Челябинского метеороида

След Челябинского метеороида – еще один ценный источник информации о нем. Самое простое, что можно сделать, рассматривая фотографии следа – это оценить его массу. Сделаем это в данном разделе работы и сравним ее с оценками массы всего объекта по данным [5, 6].

В однородной среде в соответствии с законом Бугера ослабление направленного излучения происходит экспоненциально с безразмерным коэффициентом в показателе  $\tau$ , называемым оптической толщиной (толщей) среды [50]. Так как в случае ослабления излучения слоем аэрозолей оптическая толщина в первом приближении линейно связана с некоторыми основными физическими параметрами составляющих его частиц, нетрудно увязать оптические и массовые характеристики этого слоя.

Оптическая толщина слоя аэрозолей  $\tau$ , как известно, определяется следующим образом:

$$\tau = n\sigma D,$$

где  $n$  – концентрация частиц,  $\sigma$  – сечение взаимодействия частицы аэрозолей,  $D$  – толщина слоя по линии прохождения излучения. При рассмотрении характеристик следа метеороида в оптическом диапазоне, сечение взаимодействия частицы аэрозоля с характерными размерами порядка 1 мкм равно площади поперечного сечения этой частицы.

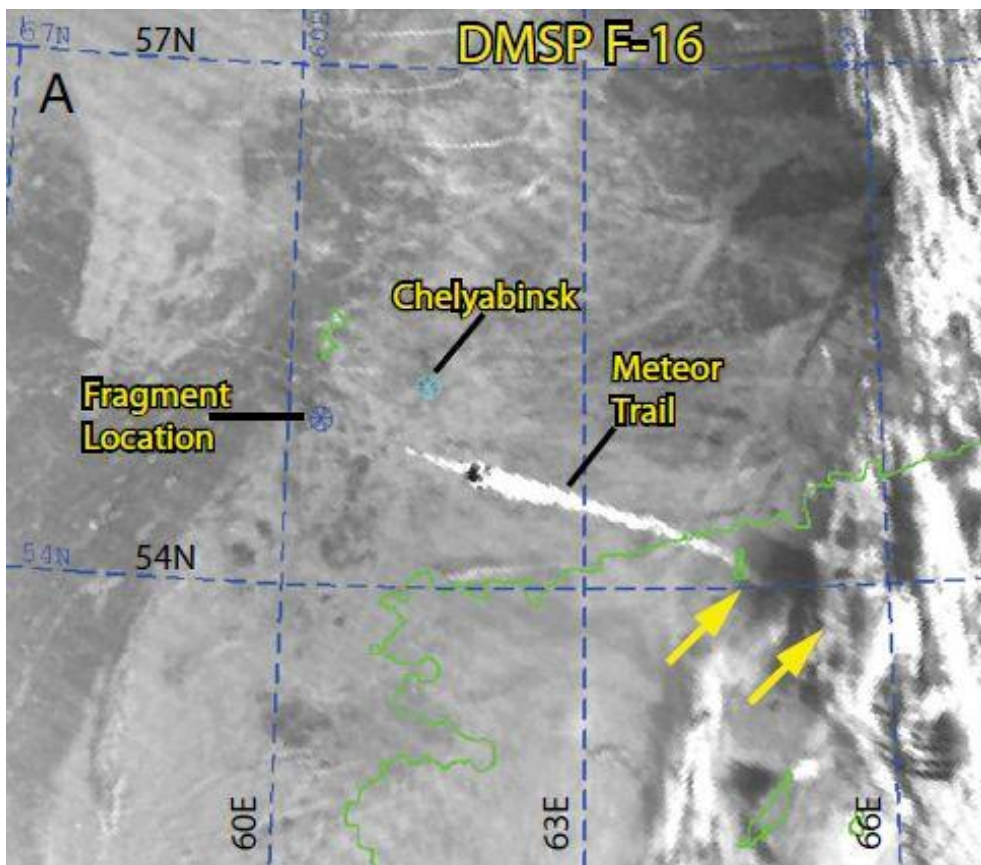


Рис. 4

След аэрозолей, возникший за Челябинским метеороидом, как видно на фотографии, сделанной метеоспутником DMSP F-16 [51], в первом приближении по форме является коническим, см. рис. 4. Легко оценить число частиц в таком следе:

$$N = \frac{\pi D^2 L n}{3},$$

где  $D$  – средний диаметр следа,  $L$  – его длина.

Тогда его масса  $m$  будет равна:

$$m \approx \frac{2\pi\rho D L d}{9}, \quad (3)$$

где  $\rho$  – средняя плотность аэрозольных частиц,  $d$  – их средний диаметр при условии их сферичности. Зная, хотя бы приближенно, средние плотность и размер аэрозолей следа, и оценив его оптическую толщину, по формуле (3) легко получить массу вещества, составляющего этот след.



Рис. 5

Однако, прежде чем проделать это для следа Челябинского метеороида, целесообразно верифицировать эту процедуру на следе, характеристики которого известны значительно лучше. В качестве такого объекта был выбран след, возникавший при старте частично многоразового космического носителя Space Shuttle, см. рис. 5 [52].

Этот след почти целиком состоял из аэрозолей, выброшенных двумя твердотопливными ускорителями SRM, которые работали от старта до высоты около 45 км. По наклону следа в верхней точке на рис. 5 (при отделении SRM угол наклона траектории к горизонтالي равен  $28^\circ$ ) можно заключить, что здесь запечатлен момент незадолго до отсечки ускорителей, и след на рис. 5 виден почти полностью, от начала и практически до конца. Из этой фотографии можно также сделать вывод, что оптические характеристики следа меняются слабо – уменьшение плотности аэрозолей из-за расширения следа компенсируется увеличением его толщины, так что формула (3), выведенная для средних значений всех распределенных величин, вполне подходит для оценок этого следа.

Полная высота следа – 45 км, его длина вдоль криволинейной траектории  $L \approx 75$  км (см. [53]), средняя толщина по рис. 5 –  $D \approx 0.7$  км. Масса твердого топлива, содержащегося в двух ускорителях SRM, составляет 1.0 кт [54]. Параллельно с SRM на начальном участке траектории работали и 3 водородно-кислородных ракетных двигателя SSME [55]. С учетом различия тяг и удельных импульсов этих двух различных силовых установок Шаттла двигателя SSME на этом участке траектории выбрасывали в атмосферу около 0.15 кт рабочего тела, которое почти полностью состоит из паров воды с небольшим количеством водорода.

В работе [56] описан химический состав двухфазной (газовой и конденсированной) среды, выбрасываемой из сопла двигателя SRM. Он воспроизведен в первых двух столбцах таблицы 4 – в первом столбце указано название вещества, во втором – его массовая доля в выхлопе. Азот, который составляет около 10 % выхлопа SRM, является при данной толщине слоя прозрачным и, поэтому, исключается из состава веществ, ответственных за образование следа. Вместо него, к веществам из выхлопа ускорителя SRM добавляются пары воды основных двигателей Спейс Шаттла. В итоге полная масса аэрозолей, выброшенных из всех двигателей этого носителя на участке траектории от старта до отсечки твердотопливных ускорителей, составляла 1.05 кт, а первичный химический состав этого объединенного выхлопа приведен в третьем столбце таблицы 4.

Таблица 4

Вещество	Доля – SRM	Доля – Space Shuttle	Доля – след	Плотность · $10^{-3}$ (кг/м <sup>3</sup> )	Объемная доля
Корунд	0.303	0.289	0.289	4.0	0.115
Сажа	0.111	0.106	0.106	2.25	0.075
Пары воды – SRM	0.267	0.255	–	–	–
Пары воды – SSME	–	0.143	–	–	–
Хлористый ангидрид	0.217	0.207	–	–	–
Азот	0.102	–	–	–	–
Раствор соляной кислоты	–	–	0.605	1.18	0.81
Сумма	1.000	1.000	1.000	–	1.000

Хлористый ангидрид и пары воды из выхлопа двигателей тут же образуют соляную кислоту, и массовые доли трех основных веществ следа Спейс Шаттла – корунда ( $Al_2O_3$ ), сажи (C) и раствора соляной кислоты (HCl) в воде ( $H_2O$ ) с концентрацией около 35 % показаны в четвертом столбце таблицы 4. Объемные доли компонент следа с учетом их плотности приведены в последнем столбце таблицы. Итак, след Шаттла по объему более чем на 80 % состоит из капелек соляной кислоты, загрязненных пылью корунда и углерода. Средняя плотность этих капелек составляет около  $1600$  кг/м<sup>3</sup>. Средний размер аэрозолей выхлопов ракетных двигателей твердого топлива (РДТТ) при 5 вариантах рецептуры был около 0.50 мкм (см. [57]). Правда, скорее всего, эти данные приведены для баллистических (двухосновных), а не смесевых (многословных), как у SRM, порохов.

Поэтому, определим все параметры, входящие в формулу (3), и с ее помощью оценим возможные границы их вариаций. Для этого осталось найти уровень оптической толщины (толщи) следа выхлопа системы Space Shuttle. Рассмотрим еще одну фотографию его старта на фоне облачности, представленную на рис. 6 [58].





Рис. 6

Типичная оптическая толщина облаков над сушей – 30, над морем – 20 [50]. Стартовая позиция Шаттла расположена на морском берегу, на мысе Канаверал. Видно, что след гуще облаков, поэтому его оптическую толщину можно оценить не менее чем в 25 – 30. Можно сделать и другую оценку – след вполне сопоставим с густым туманом, для которого средняя дальность видимости составляет около 0.1 км, что соответствует показателю рассеивания  $\sigma_p = 39 \text{ км}^{-1}$  [59]. При средней толщине струи 0.7 км и таком показателе рассеивания, ее оптическая толщина получается равной примерно 27.5, что практически не отличается от сделанной выше оценки. Тогда из формулы (3) следует, что средний размер аэрозолей равен  $d = 0.65 \text{ мкм}$ . Это очень неплохо согласуется с оценкой из источника [57], тогда как при  $d = 0.50 \text{ мкм}$  средняя оптическая толщина рассматриваемой струи была бы примерно равна 35. Таким образом, из всего этого можно заключить, что параметры аэрозолей ракетной струи могут быть оценены через ее оптические характеристики буквально «на глаз» с точностью не ниже 20 – 30 %.

Опираясь на полученную информацию, перейдем теперь к рассмотрению следа Челябинского метеороида. Имеются фотоснимки на просвет лучами Солнца его и только что рассмотренного выше следа Шаттла, см. рис. 7 – 9.



Рис. 7

На рис. 7 можно увидеть известный фотоснимок, где довольно густая тень от следа Шаттла проецируется на заходе Солнца прямо на Луну [55]. А про след Челябинского метеороида (см. рис. 8, [60]) можно только сказать, что он был поистине роскошен.



Рис. 8

Однако, аналогичное просвечивание следа Челябинского метеороида на восходе Солнца явно свидетельствует о том, что его оптическая толщина (см. рис. 9, [61]), на самом деле очень невелика и многократно ниже, чем у следа Шаттла. Правда, при этом он превосходит последний на половину порядка по длине, и на порядок с лишним по поперечным размерам.



Рис. 9

Принимая во внимание участок следа, образовавшийся уже после взрыва, его длину можно оценить на 10 км больше, чем длина от начала и до точки взрыва, составившая около 210 км [51]. Средняя ширина следа по рис. 4 была около 10 км. Так как он был образован силикатной (хондритной) пылью, то плотность этих пылинок составляла  $3300 \text{ кг/м}^3$  [6]. По рис. 9 профессиональный астроном-наблюдатель сделал вывод о том, что оптическая толщина следа Челябинского метеороида была несколько меньше 10 [62]. Опираясь на успешные оценки, сделанные для следа Шаттла, будем полагать, что Челябинский след сопоставим с легкой дымкой, для которой средняя дальность видимости составляет около 6 – 6.5 км, что соответствует показателю рассеивания  $\sigma_p \approx 0.6 \text{ км}^{-1}$  [59]. Тогда при средней толщине следа 10 км, его оптическая толщина получается не ниже 6, что согласуется с тем, что было определено по рис. 9. Итак, для следа Челябинского метеороида оценки позволяют утверждать, что  $6 \leq \tau < 10$ .

Тогда при среднем диаметре аэрозолей таком же, как в следе Шаттла, оказывается, что масса силикатного следа метеороида не может быть меньше 20 кт. Однако, следует учесть, что аэрозоли следа Шаттла – это сконденсировавшиеся мельчайшие капельки соляной кислоты, образовавшейся после сгорания, в основном, твердого топлива его ускорителей SRM. А ведь микрочастицы размером 0.5 – 1 мкм образуются именно при таких процессах конденсации и коагуляции [63]. При образовании следа каменного (силикатного) метеороида или снежно-ледяного метеороида покрытого силикатной коркой, этот след является результатом термомеханической эрозии его поверхности. В более-менее подобных производственных процессах, как показывают исследования силикоза, типичный размер пылинок, обычно, не меньше 1 – 2 мкм [64].

Тогда по формуле (3) получается, что минимальная масса следа Челябинского метеороида при  $\tau = 6$  и  $d = 0.65$  мкм составляла 20 кт. При  $d = 1.0$  мкм она уже оказывается около 30 кт. При этом по большинству известных оценок масса Челябинского метеороида на входе в атмосферу была, якобы, не больше 10 – 15 кт (например, в статье [5] – 13 кт), и большая ее часть порядка 7 – 10 кт обязательно должна была сохраниться вплоть до точки взрыва, чтобы обеспечить его энергию хотя бы на уровне 300 – 400 килотонн в тротиловом эквиваленте. Рассеянное, «сожженное» и преобразованное в результате взрыва вещество в след метеороида уже не вошло. Таким образом, в следе было в 5 – 10 раз больше вещества, чем его мог бы дать объект такого типа, который описан в большинстве работ по Челябинскому метеороиду, в том числе и в работах [5, 6]. Поэтому, данные по энергии взрыва метеороида входят в неразрешимое противоречие с данными по массе его следа. Но, если масса Челябинского метеороида была равна 1.8 – 1.85 Мт, след массой 20 – 30 кт составлял только около 1 – 1.5 % от исходной массы объекта, и никаких противоречий между этими его характеристиками быть не могло.

## **VII. Заключение**

Итак, рассмотрение основной концепции, описывающей вход в атмосферу и взрыв Челябинского метеороида, начатой в ажиотаже и спешке [7 – 9] и продолженной большинством исследователей в том же ключе, очевидно и однозначно демонстрирует, что эта концепция – хондритный метеороид размером порядка 15 – 20 м, массой 10 – 15 кт и энергией взрыва 300 – 500 кт в тротиловом эквиваленте [5, 6], совершенно не согласуется с наблюдавшимися в атмосфере и на подстилающей поверхности явлениями. Это вполне и элементарно доказано по инфразвуковым данным, уровням перепада давления на ударной волне в Челябинске и окрестностях, по разбитым стеклам, а также по массе следа Челябинского метеороида. При этом некоторые ключевые для вычислений данные были взяты из самих этих источников [5, 6]. Показано также, что оценки яркости его вспышки проведены таким образом, что не могут являться основанием для каких-либо определенных выводов.

При этом работы [5, 6], выполненные большими коллективами, безусловно, являются ценными источниками первичной информации, еще не искаженной этой ошибочной концепцией. И правильная интерпретация собранных в них данных является одной из основ, на которых строится адекватное теоретическое описание этого неординарного явления.

Однако и при использовании этих первичных данных наблюдений тоже требуется известная осторожность. Для обоснования этого утверждения можно упомянуть о том, что в таблице S11 Аппендикса к статье [6] (где указано количество поврежденных зданий по районам и средние расстояния до них от точки взрыва) в ближайшем, Коркинском районе это расстояние оказывается меньше, чем высота взрыва по данным из этой же работы. То есть в чрезвычайно своеобразной и неевклидовой геометрии авторов этого раздела статьи [6] наклонная прямая из точки до плоской поверхности оказывается короче перпендикуляра из этой же точки. Если же, наоборот, взять данные по самому дальнему району из той же таблицы – Троицкому и по городу Троицку, то для них обоих приведено одинаковое удаление – 96 км, хотя от эпицентра взрыва, указанного в работе [6], до центра Троицка 84 км, а до центра района, который практически весь лежит севернее города, около 72 км. Если же пересчитать эти удаления на наклонную дальность, то получится, соответственно, 89 и 78 км, что тоже вряд ли можно принимать за 96 км. А ведь по этим данным потом выстраивались корреляционные зависимости. И чего они стоят при таком качестве исходного материала?

И эти несоответствия, просто бросающиеся в глаза сразу же после прочтения соответствующего раздела статьи [6], не обнаружил ни один из 59 соавторов данной работы! Поэтому возникает естественный вопрос: «А сколько еще имеется там ошибок в первичных данных, менее очевидных, но, возможно, более важных для анализа, которые сейчас ни найти, ни исправить уже невозможно?» Ну, и последнее на эту тему – ссылки под номерами (9) и (65) в этой статье – это ссылки на одну и ту же работу, чего опять же никто не заметил.

Следует также отметить, что авторы работы [5] проявили удивительное непонимание значений того параметра, с которым они работали, то есть магнитуды. Они утверждают, что различие магнитуд (звездных величин) на 1.3 соответствует тридцатикратному различию яркостей! Ну, хоть бы Википедию [65] посмотрели, что ли, право слово, ведь известно же, что в соответствии с принятой логарифмической шкалой пересчета к десятикратному увеличению яркости приводит уменьшение значения магнитуды на 2.5. В связи с этим возникают сомнения в достоверности и правильности интерпретации и других данных из этой статьи, имеющих отношение к яркости вспышки.

Таким образом, мифотворчество значимого количества представителей официальной науки «о метеороида» и их стремление избегать любых дискуссий, превращает их в адептов своеобразной церкви, использующей для достижения своих целей методы, далеко выходящие за пределы научных. При этом

реальность оказывается гораздо более интересной и волнующей [66], чем их убогие мифы. Более того, если бы они были бы способны размышлять, то без труда пришли бы к выводу, что развенчание этих мифов соответствует их истинным, а не ложным интересам.

### Выводы

1. Близость максимальных длин пробега инфразвуковых волн от стратосферного взрыва Челябинского метеороида и крупнейшего в истории термоядерного взрыва «Царь-бомбы» – боезаряда АН602, произведенного в тропосфере, однозначно указывает на близость энергий этих явлений (как известно, энергия взрыва боезаряда АН602 составила около 58 Мт в тротиловом эквиваленте).
2. Оценки яркости вспышки Челябинского метеороида проведены таким образом, что не могут являться основанием для каких-либо определенных выводов об энергии его взрыва.
3. Разбитые стекла в Челябинске и его окрестностях, выбитые ворота и деформированные несущие балки соответствуют уровню избыточного давления на ударной волне, как минимум, в несколько килопаскалей (7 – 8 кПа на расстоянии около 40 км от эпицентра взрыва по данным источника [5]).
4. Как показали расчеты, проведенные различными способами, подобный уровень давления при наблюдавшейся во время инцидента высоте взрыва может обеспечить только взрыв, энергия которого была бы около 50 – 60 Мт, что на 2 порядка больше исходной, не растроченной при торможении в атмосфере, кинетической энергии хондритного метеороида размером 15 – 20 м и массой 10 – 15 кт.
5. Оценки массы следа Челябинского метеороида, приводят к уровню не меньше 20 – 30 кт, что также абсолютно противоречит представлению о Челябинском метеороиде как объекте массой 10 – 15 кт, особенно с учетом того, что на его взрыв, даже с заявленной сторонниками этой концепции энергией, не могло быть истрачено менее  $\frac{2}{3}$  исходной массы метеороида.
6. Всем наблюдавшимся явлениям соответствует разрушение в атмосфере загрязненного хондритами снежно-ледяного обломка кометы плотностью около 570 кг/м<sup>3</sup>, размером 180 – 185 м, массой около 1.8 Мт и с энергией взрыва 57 Мт в тротиловом эквиваленте.
7. Найденные на земле хондритные метеориты представляют собой осколки поверхностной корки этого кометного обломка, разбросанной, размолотой и, в основном, испаренной мощнейшим взрывом. Корка образовалась при абляции вещества метеороида под воздействием солнечного излучения во время его многократных облетов Солнца.

### Литература

1. Yu. I. Lobanovsky – Parameters of Chelyabinsk and Tunguska Objects and their Explosion Modes. *Arxiv.org*, arxiv: 1307.1967, 08.07.2013 // <http://arxiv.org/abs/1307.1967>
2. Yu. Lobanovsky – Refined Parameters of Chelyabinsk and Tunguska Meteoroids and their Explosion Modes. *Arxiv.org*, arxiv: 1403.67282, March 28, 2014 // <http://arxiv.org/abs/1403.7282>
3. Ю. И. Лобановский – Параметры Челябинского и Тунгусского объектов и характеристики их взрывов. *Synerjetics Group*, 26.01.2014 – 30.01.2016 // [http://www.synerjetics.ru/article/objects\\_2.htm](http://www.synerjetics.ru/article/objects_2.htm)
4. 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)
5. P. G. Brown et al. – A 500-kiloton airburst over Chelyabinsk and an enhanced hazard from small impactors. *Nature Letter*, **503**, no 7475, 14.11.2013 // <http://www.nature.com/nature/journal/v503/n7475/full/nature12741.html>
6. O. P. Popova et al. – Chelyabinsk Airburst, Damage Assessment, Meteorite Recovery, and Characterization. *Science*, **342**, no 6162, 29.11.2013 // <https://www.science.org/content/342/6162/1069>
7. 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>
8. W. Cooke – Why wasn't the Russian Meteor detected before it entered the Atmosphere? *NASA News, Watch the Skies*, 20.02.2013 // [https://blogs.nasa.gov/Watch\\_the\\_Skies/2013/02/19/post\\_1361308690869/](https://blogs.nasa.gov/Watch_the_Skies/2013/02/19/post_1361308690869/)

9. K. Allen – Chelyabinsk fireball: Canadian scientists still sizing it up. *Thestar.com, World*, 12.04.2013 // [http://www.thestar.com/news/world/2013/04/12/chelyabinsk\\_fireball\\_canadian\\_scientists\\_still\\_sizing\\_it\\_up.html](http://www.thestar.com/news/world/2013/04/12/chelyabinsk_fireball_canadian_scientists_still_sizing_it_up.html)
10. О. Добровидова – Из Челябинска с любовью: как в Америке обсуждали метеорит. РИА-Новости, Наука, 15.04.2013 // <http://ria.ru/science/20130415/932637522.html>
11. IMS Infrasound Network. *DTRA Verification Database* // <http://www.rdss.info/infrastat/network/map.html>
12. A. Le Pichon, L. Ceranna et al. – The 2013 Russian Fireball largest ever detected by CTBTO infrasound sensors. *Geophysical Research Letters*, **40**, issue 14, 28.07.2013 // <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/grl.50619/abstract>
13. Царь-бомба. *Wikipedia* // <http://ru.wikipedia.org/wiki/Царь-бомба>
14. Yu. I. Lobanovsky – Acoustic Methods for Evaluation of High Energy Explosions. *Arxiv.org*, arxiv: 1311.6565, 06.03.2014 // <http://arxiv.org/abs/1311.6565>
15. Ю. И. Лобановский – Каким был Челябинский метеороид на самом деле? *Synerjetics Group*, 10.07.2014 // [http://www.synerjetics.ru/article/two\\_arguments.htm](http://www.synerjetics.ru/article/two_arguments.htm)
16. D. Yeomans, P. Chodas – Additional Details on the Large Fireball Event over Russia on Feb. 15, 2013. *Near Earth Object Program, NASA*. 01.03.2013 // [http://neo.jpl.nasa.gov/news/fireball\\_130301.html](http://neo.jpl.nasa.gov/news/fireball_130301.html)
17. P. Brown, R. Spalding et al. – The Flux of Small Near-Earth Objects Colliding with the Earth. *Letters to Nature*, **420**, 2002 // <http://www.nature.com/nature/journal/v420/n6913/full/nature01238.html>
18. В. Литовка – Странный диск отражается в Днепре. *Украина аномальная* // [http://ufodos.org.ua/photo/ufoinukraine/strannyj\\_disk\\_otrazhaetsja\\_v\\_dnepre/2-0-509](http://ufodos.org.ua/photo/ufoinukraine/strannyj_disk_otrazhaetsja_v_dnepre/2-0-509)
19. Солнце. *Wikipedia* // <http://ru.wikipedia.org/wiki/Солнце>
20. Херсон, Малый Потемкинский остров // <http://khersonphoto.blogspot.ru/2013/07/Herson-Malyj-Potemkinskij-ostrov.html>
21. Reflectivity. *Wikipedia* // <http://en.wikipedia.org/wiki/Reflectivity>
22. Житель Троицка обнаружил сенсационное видео со взрывом метеорита спустя год. *ОТВ, Первый областной* // [http://www.lobl.ru/news/eto-interesno/sensatsionnoe-video-so-vzryvom-meteorita-spustya-god/?sphrase\\_id=3112063](http://www.lobl.ru/news/eto-interesno/sensatsionnoe-video-so-vzryvom-meteorita-spustya-god/?sphrase_id=3112063)
23. К. Багирова – Метеорит в Троицке. YouTube // [http://www.youtube.com/watch?feature=player\\_embedded&v=3yFei1bDNeo](http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=3yFei1bDNeo)
24. Стекло и стеклопакеты для пластиковых окон. *Экоокна* // <http://ecookna.com.ua/articles/steklo/>
25. 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>
26. Атмосферный ядерный взрыв. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосферный\\_ядерный\\_взрыв](http://ru.wikipedia.org/wiki/Атмосферный_ядерный_взрыв)
27. 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>
28. Физика взрыва, под ред. Л. П. Орленко, т. 1. Москва, Физматлит, 2002 // <http://padabum.com/d.php?id=20818>
29. Е. А. Шитиков – Создание полигона на Новой Земле. В кн. *Ядерные испытания СССР. Том 1. РФЯЦ ВНИИЭФ*, 1997 // [http://www.wsyachina.narod.ru/history/testing\\_ground\\_23.html](http://www.wsyachina.narod.ru/history/testing_ground_23.html)
30. S. Glasstone, P. J. Dolan – *The Effects of Nuclear Weapons*. U.S. Department of Defense, U.S. Department of Energy, Washington, 1977.
31. S. Mannan, F. P. Lees – *Lees' Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control*, vol. 1, 3rd edition. Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.
32. В. И. Биненко, Г. Н. Храмов, В. В. Яковлев – *Чрезвычайные ситуации в современном мире и проблемы безопасности жизнедеятельности*. СПб, 2004 // [http://mchs.gov.by/modules/cfiles/files/ips\\_15.10.2010.pdf](http://mchs.gov.by/modules/cfiles/files/ips_15.10.2010.pdf)
33. Г. И. Покровский – *Взрыв*. Москва, Недра, 1980 // <http://bookre.org/reader?file=475855>
34. 1976 Standard Atmosphere Calculator // <http://www.digitaldutch.com/atmoscalc/>
35. Семипалатинский ядерный полигон. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Семипалатинский\\_ядерный\\_полигон](http://ru.wikipedia.org/wiki/Семипалатинский_ядерный_полигон)
36. Испытания первых термоядерных зарядов РДС-6с и РДС-37. В кн. *Ядерные испытания СССР, т. 1. РФЯЦ ВНИИЭФ*, 1997 // [http://www.wsyachina.narod.ru/history/nuclear\\_testing\\_5.html](http://www.wsyachina.narod.ru/history/nuclear_testing_5.html)
37. 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)
38. Christmas Island Bomb Tests. Picture Gallery 1. *Operation Dominic 1962* // [http://www.janeresture.com/christmas\\_bombs/picture\\_gallery1.htm](http://www.janeresture.com/christmas_bombs/picture_gallery1.htm)
39. Г. Г. Кудрявцев – Воспоминания о Новой Земле. *Всякая всячина*, 16.12.1992 // [http://www.wsyachina.narod.ru/history/testing\\_ground\\_26.html](http://www.wsyachina.narod.ru/history/testing_ground_26.html)
40. Google-Earth // <https://maps.google.ru/maps?hl=en&tab=wl>

41. Основы газовой динамики, под ред. Г. Эммонса. Москва, Издательство Иностранной Литературы, 1963.
42. В. В. Келдыш, Ю. И. Лобановский – Некоторые особенности пространственных течений с мостообразными скачками уплотнения. Ученые записки ЦАГИ, 7, N 5, 1976 // <http://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-osobennosti-prostranstvennyh-techeniy-s-mostoobraznyimi-skachkami-uplotneniya>
43. Krakatoa. *Wikipedia* // <http://en.wikipedia.org/wiki/Krakatoa>
44. В. А. Бронштэн – Метеоры, метеориты, метеороиды. Глава 4. Тунгусский метеорит. Москва, Наука, 1987 // <http://tunguska.tsc.ru/ru/science/1/BronstenMMM/Glava4/>
45. A. Ben-Menahem – Source parameters of the Siberian explosion of June 30, 1908, from analysis and synthesis of seismic signals at four stations. *Physics of The Earth and Planetary Interiors*, 11, no. 1, 1975 // <http://65.54.113.26/Publication/40382391/source-parameters-of-the-siberian-explosion-of-june-30-1908-from-analysis-and-synthesis-of>
46. V. Svetsov, V. Shuvalov – Tunguska Catastrophe of 30 June 1908. In *Book: Catastrophic Events Caused by Cosmic Objects*. Springer, 2008 // <http://confessedtravelholic.com/doc/download-ebook-Catastrophic-Events-Caused-by-Cosmic-Objects-pdf-amazon-304051.html>
47. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия // <http://www.aliantechnologies.ru/docs/snip-2-01-07-85.pdf>
48. V. V. Shuvalov – Multi-dimensional hydrodynamic code SOVA for interfacial flows: Application to thermal layer effect. *Shock Waves*, 9, 1999.
49. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер – Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Москва, «Наука», 1966 // <http://www.twirpx.com/file/46551/>
50. К. С. Шифрин – Оптическая толщина. *Физическая энциклопедия* // [http://www.physicum.narod.ru/vol\\_3/443.pdf](http://www.physicum.narod.ru/vol_3/443.pdf)
51. S. D. Miller et al. – Earth-viewing satellite perspectives on the Chelyabinsk meteor event. *PNAS*, 110, no. 45, 19.09.2013 // <http://www.pnas.org/content/early/2013/10/15/1307965110.full.pdf+html>
52. Student Balloon Photographs Shuttle Endeavour's Launch into Orbit. SPACE.com Staff, 16.05.2011 // <http://www.space.com/11683-shuttle-endeavour-launch-balloon-photos.html>
53. Space Shuttle Launch Trajectory – I. *Space Math* // <http://spacemath.gsfc.nasa.gov/Calculus/5Page40.pdf>
54. Двигатель SRM // <http://wmpt.narod.ru/tt8.htm>
55. Space Shuttle. *Wikipedia* // [http://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_Shuttle](http://en.wikipedia.org/wiki/Space_Shuttle)
56. Ю. И. Лобановский – Законы сохранения и феноменология ракетных двигателей. *Synerjetics Group*, 30.06.2008 // [http://www.synerjetics.ru/article/rocket\\_engines.htm](http://www.synerjetics.ru/article/rocket_engines.htm)
57. М. П. Мусьяков, И. Д. Миценко, Г. Г. Ванев – Проблемы ближней лазерной локации. Москва, Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000 // <http://www.ozon.ru/context/detail/id/113012/>
58. Our Strange Sky: The Many Views of Endeavour's Last Launch: APOD's Space Shuttle Rising Tribute // <http://www.groonk.net/blog/2011/05/our-strange-sky-the-many-views-of-endeavours-last-launch/>
59. Д. Н. Зубарев – Прозрачность земной атмосферы. *Физическая энциклопедия* // [http://www.physicum.narod.ru/vol\\_4/137.pdf](http://www.physicum.narod.ru/vol_4/137.pdf)
60. Взрыв метеорита в небе над Челябинском (Метеорит «Челябинск»). Полный фото-отчет с комментариями // <http://marateaman.livejournal.com/27910.html>
61. След метеороида. *Чудеса и приключения* // <http://chudesamag.ru/wp-content/uploads/2013/04/Meteorit-Miass-32.jpg>
62. Ю. В. Пахомов – Частное сообщение, 12.12.2013.
63. Исследование процессов испарения и конденсации жидких капель // <http://ref.rushkolnik.ru/v3608/>
64. Патогенез и клиника основных пневмокозиозов. Гигиена труда общая // <http://userdocs.ru/medicina/138729/index.html?page=4>
65. Звёздная величина. *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Звёздная\\_величина](http://ru.wikipedia.org/wiki/Звёздная_величина)
66. Ю. И. Лобановский – Кометно-метеоритная угроза: исторический аспект. *Synerjetics Group*, 30.07.2013 – 30.03.2015 // <http://www.synerjetics.ru/article/history.htm>

Москва  
14.02.2014 – 30.01.2016

Ю. И. Лобановский