

## Первоочередная задача оценки остроты кометно-метеоритной угрозы Меморандум

Камни не могут падать с неба, поскольку на небе камней нет.  
Французская академия наук, 1772 год.

### Краткое содержание

В меморандуме кратко описаны результаты расчетов траекторий и параметров взрыва так называемого «Челябинского метеорита». Приведены также и расчетные характеристики «Тунгусского метеорита». Показана общность происхождения этих двух небесных тел, являвшихся кометными обломками, а также то, что потенциально существует еще порядка  $10^3$  столь же опасных объектов, невидимых современными средствами слежения за околоземным космическим пространством из-за солнечной засветки. Предложен способ преодоления этого положения, которое никак нельзя признать удовлетворительным.

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

### Введение

Как известно, 15 февраля 2013 года, в 9:20:30 по местному летнему времени в южных окрестностях города Челябинска в районе точки с координатами  $54.85^\circ$  северной широты и  $61.20^\circ$  восточной долготы на высоте 25 – 25.5 км над поверхностью земли и на расстоянии около 35 км от центра Челябинска произошел взрыв объекта, двигавшегося по пологой траектории с очень высокой скоростью. Данный объект сейчас обычно называют Челябинским метеоритом. Солнечное время в эпицентре взрыва на тот момент составляло 7:25:20, то есть было раннее зимнее утро.

На обширной территории, простирающейся от города Златоуста на западе от Челябинска, до города Троицка на юге и до села Миасского на северо-востоке зафиксированы повреждения зданий, выбитые окна и двери. Расстояния от эпицентра взрыва до крайних точек зоны зафиксированных разрушений, как минимум, превышают 70 км, а до Златоуста и Троицка они составляют не менее 90 км. Это означает, что перепад давления, создаваемый ударной волной от взрыва на расстоянии 90 км от его эпицентра, был не ниже, чем 5 кПа (килопаскалей), что сразу же свидетельствует об энергии взрыва в десятки мегатонн в тротиловом эквиваленте. Всего в инциденте пострадало 1613 человек, большинство из них – от выбитых стекол. Госпитализации подверглось по разным данным от 40 до 112 человек, двое пострадавших были помещены в реанимацию. Такого количества пострадавших от падения объекта из космоса в историческое время зарегистрировано еще не было.

Три независимых группы исследователей приблизительно определили параметры орбиты Челябинского объекта до столкновения с Землей. Среднее значение его периода обращения по этим данным всего на 0.2 % отличается от величины 2.1667 года. Это означает, что Челябинский объект с высокой степенью вероятности находился в резонансе 13:6 с Землей, то есть периоды обращения объекта и Земли относились как целые числа 13 и 6. Таким образом, раз в 13 лет, совершив 6 оборотов вокруг Солнца, объект снова и снова сближался с Землей, пока не столкнулся с ней. При этом, несмотря на то что, как будет показано далее, его размер, как минимум, на порядок превышал минимальный размер обнаруживаемых в околоземном пространстве объектов, он не был зафиксирован системами слежения за космическим пространством.

Следует также отметить, что известно несколько астероидов, находящихся в орбитальном резонансе с Землей, например, Круитни (Cruithne) и Йорп (YORP), и, так как они имеют собственные имена, то являются довольно крупными. Известно также, что существуют спин-орбитальные резонансы между Землей и Луной, а также Землей и Венерой и даже Землей и Меркурием. Более полувека назад была составлена таблица, в которой все планеты Солнечной системы с точностью до 1 % находятся в орбитальных резонансах между собой. Так что резонансные орбиты – это не астрономическая экзотика, а, скорее, правило.

Более того, Челябинский объект столкнулся с Землей во время второго сближения их орбит, когда он, пройдя перигелий, уже удалялся от Солнца. Поэтому с учетом сдвига времени на полгода на момент первого сближения орбит этого объекта и Земли, разница во времени между его столкновением с Землей и столкновением самого крупного до него Тунгусского объекта (30 июня 1908 года) составляет 104 года, то есть ровно 8 периодов по 13 лет. Имеющееся различие в 1.5 месяца между 30 июня и серединой августа – временем первого прохождения Челябинским объектом точки пересечения его орбиты с плоскостью эклиптики, легко объясняется небольшой естественной разницей орбит этих объектов, в первую очередь в

наклонениях (наклонение орбиты Челябинского объекта к плоскости эклиптики оценивается в  $3^\circ$ ). Следовательно, есть все основания полагать, что орбиты этих двух небесных тел были очень близки.

За прошедшие с момента Челябинского инцидента 5.5 недель после предварительного анализа имеющейся информации была построена математическая модель, связывающая параметры движения подобных объектов, как в сфере действия Солнца, так и в сфере действия Земли с их массо-энергетическими характеристиками, которые, в свою очередь, с помощью программного модуля расчета воздушных взрывов космических объектов и/или их столкновений с земной или водной поверхностью, разработанного в американском университете Пердью и в Имперском колледже Лондона, были увязаны с наблюдавшимися во время Челябинского инцидента явлениями.

После создания этой комплексной математической модели при известной орбите объекта до входа в земную атмосферу стало возможным с точностью до погрешности измерения высоты взрыва и координат эпицентра однозначно определять все основные параметры как самого объекта, так и вызванного им взрыва. Безусловно, модель в части описания движения объекта в атмосфере является моделью первого приближения. Поэтому некоторые из параметров, такие как начальный угол наклона траектории объекта (угол входа), его размер, и, особенно, плотность составляющего его вещества, определяются не вполне точно. Однако, эта математическая модель позволила перейти от полной неопределенности и умозрительных спекуляций на тему инцидента к регулярному решению физико-математической задачи, в результате чего расчетным путем были определены все основные параметры рассматриваемого явления. В случае необходимости на базе этой модели и на решениях, полученных с ее помощью, можно создавать расчетные модули, все более точно описывающие любой элемент рассматриваемого явления. При этом, некоторые важнейшие параметры, такие как, например, энергия взрыва, уже сейчас в рамках настоящей модели определяются практически точно.

Из сопоставления полученных в результате расчетов данных и известной информации о других подобных объектах, в первую очередь о так называемом «Тунгусском метеорите», был сделан вывод о том, что Челябинский объект не является уникальным единичным телом, а есть представитель обширного семейства объектов – снежно-ледяных обломков одной из комет. Кроме того, важнейшим обстоятельством является то, что представители этого семейства не могут быть обнаружены современными оптическими средствами слежения за обстановкой в околоземном космическом пространстве. Это вызвано тем, что радианты всех этих объектов из-за параметров их орбит при сближении с Землей отклонены от направления на Солнце на угол не более  $12^\circ - 16^\circ$ . Поэтому используемые сейчас для наблюдений средства не могут обнаружить эти темные, как и ядра комет, покрытые хондритной (силикатной) коркой объекты, из-за солнечной засветки.

Таким образом, угрожающие Земле в наибольшей степени кометные обломки различных размеров, достигающих, как показывают результаты расчетов характеристик Челябинского объекта, до двух сотен метров (а то и более), принципиально не наблюдаемы современными средствами слежения. Только анализ последствий периодического (через 13 лет) входа в атмосферу Земли тел, превращавшихся в яркие болиды, а также расчет входа и взрыва двух крупнейших из них – Тунгусского и Челябинского объектов – вероятно, самых крупных космических тел, столкнувшихся с Землей за историческое время, позволил выявить существование этих семейств кометных обломков и поставить задачу их визуального обнаружения для дальнейшей оценки степени угрозы и поиска средств борьбы с нею.

Основные результаты этой работы и вытекающие из нее выводы кратко изложены ниже. Подробное обоснование результатов следует позднее.

### **Результаты и выводы**

1. Челябинский объект до столкновения с Землей находился с ней в орбитальном резонансе 13:6, то есть, совершая 6 оборотов вокруг Солнца за 13 земных лет, регулярно сближался с Землей и при этом ни разу до входа в ее атмосферу не был обнаружен.
2. Разница во времени между столкновениями Челябинского объекта с Землей и крупнейшего до него в историческое время Тунгусского объекта составляет ровно 8 циклов этого орбитального резонанса.
3. Экспресс-анализ появления наиболее ярких болидов и возникновения интенсивных метеоритных дождей за последнюю четверть тысячелетия показал, что очень многие из них с допуском  $\pm (1.5 - 2)$  месяца прекрасно укладываются в обнаруженный тринадцатилетний цикл, разбиваясь на 2 близких семейства. Причины этого будут указаны ниже.
4. При этом представители первого семейства должны были сближаться с Землей в январе – апреле 2011 года в первый раз, и в июле – октябре 2011 года – во второй раз. Представители второго

- семейства – соответственно, в мае – августе 2012 года и в ноябре 2012 – феврале 2013 годов. Все эти окна сближения с Землей периодически повторяются каждые 13 лет.
5. Орбиты объектов этих семейств таковы, что в первые окна сезона сближения с Землей местным утром возможен только крутой вход в атмосферу (углы входа не меньше  $20 - 30^\circ$ ), а местным вечером реализуются пологие входы (углы входа от  $0$  до  $10^\circ$ ). Во вторые окна сезона сближения пологие входы имеют место быть утром, а вечером могут быть только крутые входы. При этом, чем ближе время входа объекта в атмосферу к окрестности середины дня, и чем ниже широта точки входа, тем круче его вход. Самые пологие входы – когда Солнце уже или еще за горизонтом как это и было в Челябинске.
  6. Следует отметить, что чем круче вход объекта в атмосферу, тем, при прочих равных условиях, он может проникнуть на большую ее глубину, при достаточно больших размерах имея возможность достичь земной или водной поверхности. Кроме того, чем круче вход, тем меньшая доля начальной кинетической энергии объекта рассеивается при его движении в атмосфере, и тем мощнее взрыв, завершающий его движение.
  7. Именно в указанные в п. 4 сроки иногда происходили разрушения построек и даже случались человеческие жертвы, которые не могли быть объяснены местными наблюдателями ничем иным, кроме как «падением метеорита», см. например, описание инцидента, произошедшего 26 сентября 2011 в Аргентине.
  8. Расчеты по созданной комплексной математической модели, описывающей движение небесных тел как в сфере гравитационного действия Солнца, так и Земли, а также связывающей характеристики этого объекта с параметрами вызванного им взрыва, позволили без каких-либо дополнительных допущений приближенно (на текущий момент) определить все основные данные, характеризующие Челябинский объект и явления, связанные с его движением в атмосфере Земли.
  9. В результате расчетов движения объекта по трем близким орбитам с одинаковым периодом обращения 13/6 лет, но несколько различающихся величинами перигелия – от 0.78 до 0.82 астрономических единиц (и, следовательно, некоторыми другими параметрами этих орбит), было показано, что скорость объекта на входе в земную атмосферу при движении против вращения Земли составляла от 17 км/с до 18 км/с, а угол его входа в атмосферу был около  $8^\circ - 8.5^\circ$ , что заметно меньше типичных углов входа метеоритов.
  10. При этом его размер (диаметр) составлял от 170 до 195 м, а плотность его вещества была равна  $500 - 800 \text{ кг/м}^3$ . Следовательно, как и Тунгусский объект, небесное тело, взорвавшееся при Челябинске 15 февраля 2013 года, состояло в основном из смерзшегося снега и льда и могло быть только обломком кометы. С учетом близости орбит этих двух небесных тел такая общность их состава позволяет предположить и общность их происхождения.
  11. Масса Челябинского объекта составляла около 2 миллионов тонн, а энергия воздушного взрыва, вызванного его разрушением, находилась в диапазоне 56 – 58 мегатонн в тротиловом эквиваленте, что практически равно энергии взрыва так называемой Царь-бомбы (Кузькиной матери), произведенного 30 октября 1961 года на Новой Земле.
  12. Только большая высота взрыва Челябинского объекта, составлявшая 25 – 25.5 км и вызванная лишь очень пологой траекторией его полета, привела к сравнительно скромным воздействиям столь мощного взрыва на объекты, расположенные на земной поверхности. Максимальный перепад давления на взрывной ударной волне в эпицентре составлял по расчетам 14.5 – 15 кПа, что примерно равно 0.15 атмосферы. Он не мог привести к заметным повреждениям капитально построенных зданий и сооружений или к лесоповалу. Для начала последнего необходим перепад давления минимум в 2 раза больший. На расстоянии 35 километров от эпицентра взрыва, что примерно соответствует центру Челябинска, перепад давления на ударной волне составлял около 10 кПа. Это вызывает практически полное разрушение стекол в окнах, расположенных на той стороне здания, на которую набегает ударная волна, а также открывание или выбивание ворот и дверей, что и наблюдалось в реальности. На расстоянии около 90 км от эпицентра перепад на волне был примерно равен 5 кПа, что является границей, на которой еще разбиваются нетолстые стекла.
  13. Расчеты характеристик Тунгусского объекта по упомянутой выше комплексной математической модели показали, что данные, полученные всего за 2 – 3 часа, необходимых для проведения этих расчетов по готовой, отработанной на Челябинском объекте модели, находятся в прекрасном согласии с теми, что были ранее получены несколькими поколениями исследователей за десятилетия работы по «Тунгусскому метеориту», но имеют в несколько раз меньший разброс, вызванный только некоторой неопределенностью входных параметров. Характеристики Тунгусского объекта оказались следующими: размер – 95 – 115 м, плотность вещества  $500 - 650 \text{ кг/м}^3$ , масса – 0.3 – 0.4 миллиона тонн. Таким образом, Тунгусский объект по массе оказался в 5 – 7 раз меньше Челябинского.
  14. Угол входа Тунгусского объекта в атмосферу составил около  $51^\circ$ , энергия воздушного взрыва – 11 – 14.5 Мт (в 4 – 5 раза меньше, чем у Челябинского объекта), а его высота – 7.5 – 8.5 км (примерно в 3 раза ниже). Расчетный перепад давления на ударной волне в эпицентре Тунгусского взрыва изменялся, в зависимости от варианта, от 65 до 100 кПа, а на границе лесоповала он был равен 30

- кПа. В основном разброс характеристик связан с трудностью определения (спустя много десятилетий после самого события) точных границ лесоповала во время этого инцидента, а также их прихотливостью – известен термин – «Тунгусская бабочка», поэтически описывающий форму зоны лесоповала. Нижние из упомянутых выше значений перепада давления на волне соответствуют удалению границ лесоповала от эпицентра на 15 км, а верхние – на 20 км.
15. Таким образом, все имеющиеся расчетные данные подтверждают гипотезу о единстве происхождения Тунгусского и Челябинского объектов. Источником их происхождения могло быть только ядро короткопериодической кометы. Состояли они из частично переплавленного снега и льда с примесями в виде хондритов, тонкой и весьма темной коркой покрывавших основные снежно-ледяные массивы этих объектов. Такая дифференциация вещества, как известно, естественным образом получается при постепенном испарении льда под действием солнечного излучения. Именно остатки этой корки и находят сейчас в незначительных количествах в окрестностях южно-уральского города Чебаркуль. При этом из ядра кометы никак не могли образоваться только 2 подобных тела.
  16. Из небесной механики известно, что наибольшее влияние на траекторию полета небесного тела имеют возмущения, нормальные к вектору скорости его полета, тогда как малые продольные изменения скорости на нее влияют гораздо слабее. Поэтому при разрушении ядра кометы, например, под ударом крупного метеорита или небольшого астероида, или по другим причинам, обломки ядра, образовавшиеся после его разрушения, могут разделиться на три группы. Две группы обломков, получившие, в основном, трансверсальные возмущения скорости вперед и назад, перейдут на орбиты, несколько различающиеся для групп, но относительно слабо различающиеся для членов этих групп. После многократных гравитационных взаимодействий с Землей эти группы и должны были образовать два семейства обломков ядра на достаточно близких резонансных орбитах. А обломки ядра, получившие при его разрушении, в основном, возмущения, нормальные вектору скорости исходного тела, случайным образом разлетелись по существенно более различным траекториям, рассеявшись в пространстве. В принципе, большинство метеоритов, входящих в атмосферу Земли – это члены метеоритных потоков, образовавшихся, как считается общепринятым, вследствие разрушения комет. За долгий срок весь лед с таких обломков испаряется, и остаются небольшие силикатные ядра, которые и являются типичными метеоритами-хондритами.
  17. Этим двум семействам кометных обломков были даны имена по наиболее известным их членам: первая группа была названа семейством Орла (метеорит Орел (L'Aigle), упавший в Нормандии 26 апреля 1803 года), вторая – семейством Тунгуса («Тунгусский метеорит» – Восточная Сибирь, 30 июня 1908 года). Очевидно, что по космическим меркам – это достаточно молодые семейства, еще содержащие порядка миллиарда тонн льда, см. ниже.
  18. Были проведены оценки количества крупных (размером не менее Тунгусского) обломков указанных двух семейств по разбросу времени появления в небе Земли известных крупных болидов с подходящими характеристиками (см. пункты 4 – 5). Кроме того, учитывалось, что за исторический период с 1751 года (известен метеорит Храшчина (Hraschina), упавший 26 мая 1751 года) по 2013 год было 84 тесных прохода объектов обоих семейств у Земли, что завершилось не менее чем двумя столкновениями планеты с крупными телами, а также возникновением пока неопределенного количества болидов, то есть оптических явлений, вызванных входами в земную атмосферу, как правило, тел менее крупных. Отсюда следует, что количество потенциально опасных крупных объектов обоих семейств можно оценить числом порядка  $10^3$ . К аналогичному результату можно также прийти, оценивая число крупных обломков через предположительный объем исходного ядра типичной небольшой кометы диаметром 2.5 – 3 км. Как некоторое подтверждение возможности существования таких групп обломков, можно отметить, что число достаточно крупных объектов в группе Аполлонов – одной из группировок околоземных астероидов, превышает  $5 \cdot 10^3$  штук.
  19. Видимо, предпоследним на данный момент болидом семейства Тунгуса оказался Сан-Францисский, который, как и Челябинский объект («Челябинец»), наблюдался вечером 15 февраля 2013 года над местной бухтой (на самом деле по астрономическому времени на сутки позже него). Считается, что вероятность падения значительного небесного тела на крупный город мала. Однако, если бы Челябинский и Сан-Францисский обломки вдруг поменялись бы своими траекториями, тогда, в соответствии с уточненными расчетами, Челябинский обломок кометы подлетел бы к Сан-Францисской бухте по довольно крутой траектории с углом входа  $19^\circ$  и взорвался бы на высоте 12 – 13 километров (вдвое ниже, чем у Челябинска). При этом энергия этого взрыва на 6 – 10 мегатонн была бы больше, чем у высотного взрыва при Челябинске, так как из-за более крутого входа начальная кинетическая энергия объекта почти совершенно не была бы рассеяна на коротком участке траектории, проходящем через атмосферу. Сочетание большой энергии (в 5 – 6 раз большей, чем у Тунгусского объекта) и близкой к оптимальной высоте подрыва привели бы к катастрофическим разрушениям городской агломерации зоны Сан-Францисской бухты и к бесчисленным жертвам. И вероятность реализации в будущем подобного сценария в окрестностях какого-либо города не является нулевой – за 4 дня середины февраля 2013 года таким своеобразным

- атакам подверглись 3 района Земли (к упомянутым ранее городам и агломерации можно добавить еще и кубинский Сьенфуэгос).
20. Происхождение приведенных NASA данных по характеристикам Челябинского объекта, широко растиражированных средствами массовой информации, и молчаливо принятых всеми, кто рассказывает о нем другим: диаметр – 15 – 17 м, масса – 7 – 10 тысяч тонн, тротиловый эквивалент взрыва – до 500 кт, объясняется просто – соответствующие представители NASA посчитали, что больший объект был бы замечен их системами слежения за околоземным космическим пространством. Однако, они не подумали, что этим системам недоступны околосолнечные ракурсы. Расчеты показывают, что, даже если бы на входе в атмосферу тротиловый эквивалент объекта такого типа и был бы равен 500 кт, то из-за рассеивания энергии по траектории реальный ее остаток, затраченный на воздушный взрыв, не превысила бы 120 кт. При таком взрыве перепады давления на ударной волне в Челябинске были бы, минимум, в 300 с лишним раз ниже наблюдавшихся, и там бы совершенно не было бы никаких разрушений. Таким образом, элементарный анализ сразу же показывает полную абсурдность мифов, тиражируемых в течение месяца как средствами массовой информации, так и теми, кто называют себя «учеными».
  21. Данная ситуация показывает, что сочетание человеческого недомыслия, высокотехнологичных автоматизированных систем, а также современных средств массовой информации приводит к ошибкам такого масштаба, которые никогда не могли бы быть достигнуты при опоре на одну только простую и естественную человеческую глупость.
  22. Таким образом, есть все основания полагать, что имеется большое количество потенциально опасных для Земли объектов, не обнаруживаемых современными оптическими средствами слежения за околоземным космическим пространством из-за помех, вызванных солнечной засветкой, причем именно эти объекты являются самыми опасными среди всех иных.
  23. В средневолновой области инфракрасного диапазона спектра, наилучшим образом подходящей для обнаружения умеренно нагретых очень темных тел, при длине волны 7 – 10 мкм соотношение сигнал/шум от солнечной засветки должно многократно вырасти, позволив заметно сузить зону, в которой наблюдение невозможно, что, как следует ожидать, позволит следить за опасными семействами.
  24. Следовательно, первоочередной задачей борьбы с кометно-метеоритной угрозой, которая как показал Челябинский инцидент, оказалась гораздо большей, чем можно было предполагать до него, является создание системы на базе инфракрасных телескопов, способной обнаруживать и идентифицировать объекты указанных выше семейств кометных обломков, всегда заходящие на Землю со стороны Солнца, как это часто делали при атаке противника летчики-асы двух мировых войн.

Москва  
28.03.2013  
08.04.2013

Ю. И. Лобановский