

Два семейства обломков одной кометы и их родители

Ю. И. Лобановский

Делать то, что нужно – так, как можно; или делать то, что можно – так, как нужно.

Л. Д. Ландау

Краткое содержание

В работе, наряду с данными о Челябинском и Тунгусском кометными обломками, приводятся расчетные параметры двух новых объектов, также входящих в семейство Тунгуса – Кубинского и Сан-Францисского. Показано, что энергия взрыва Кубинского кометного обломка составляла несколько мегатонн, а если бы по траектории Сан-Францисского обломка пролетел бы Челябинский, то конурбация Сан-Францисского залива перестала бы существовать.

Определена базовая орбита второго семейства обломков этой кометы – семейства Орла и рассчитаны параметры трех его членов. Показано, что Большой Невадский метеор по размерам и массе мог превосходить Тунгусский объект. Приводятся доводы за то, что оба рассматриваемых семейства кометных обломков возникли в результате столкновения ядра небольшой короткопериодической кометы с железоникелевым метеоритом, последующее падение которого на Землю около 50 тысяч лет назад привело к образованию Аризонского кратера. Данных, противоречащих этой гипотезе, в настоящий момент не существует.

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

Таблица символов

v – скорость
 ρ – плотность
 p – давление
 d, D – диаметр
 L – удаление
 m – масса
 E – энергия
 h – глубина
 H – высота
 i – наклонение
 δ – угол входа

Индексы

0 – начальный
e – взрывной
t – мишень

I. Введение

В работах [1, 2] было показано, что есть все основания считать Челябинский и Тунгусский объекты обломками ядра одной и той же короткопериодической кометы, разрушившейся, по астрономическим меркам, сравнительно недавно, несколько более 50 тысяч лет. Последнее «ударное событие», в результате которого Челябинский, а, значит, и Тунгусский объекты, возникли, «произошло несколько десятков тысяч лет назад» [3]. За такой срок обломки кометы, хоть и находились ближе к Солнцу, чем «снежная линия» – граница Солнечной системы, внутри которой происходит постепенное испарение снега и льда [4], еще не успели потерять их полностью и превратиться в обычный метеоритный поток, десятки или сотни которых периодически пересекают орбиту Земли [5].

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 [6]. Поэтому при разрушении ядра кометы, например, под ударом крупного метеорита, обломки ядра могут разделиться на три группы. Две группы обломков, получившие, в основном, трансверсальные возмущения скорости вперед и назад, перейдут на орбиты, 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 – осколки хондритной корки, покрывавшей снежно-ледяное ядро обломков.

Такое предположение было сделано в меморандуме [7] около трех недель назад, и вскоре оба этих семейства приобрели вполне определенные черты, после того как было обнаружено по несколько членов каждого из них. Описанию этих семейств через портреты их выдающихся представителей, а также поиску их «родителей», и посвящена данная статья. 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).

II. Орбиты двух семейств

В качестве орбиты семейства Тунгуса вследствие описанного в статье [1] сходства орбит Челябинского и Тунгусского кометных обломков, была выбрана орбита последнего, как единственная, определенная с той или иной степенью точности и достоверности. Конечно, это не означает, что все члены семейства Тунгуса движутся или двигались по этой орбите, но она дает представление о приблизительных параметрах целого пучка в основном сходных траекторий. Из ее характеристик следуют вполне определенные представления о том, как и когда члены этого семейства могут наблюдаться в небе Земли.

Представители семейства Тунгуса должны были сближаться с Землей в мае – августе 2012 года и в ноябре 2012 – феврале 2013 годов. Вследствие того, что орбиты резонансны [1], эти окна сближения с Землей периодически повторяются каждые 13 лет. Орбиты объектов этого семейства таковы, что в первые окна сезона сближения с Землей местным утром возможен только крутой вход в атмосферу (углы входа не менее 20 – 30°), а местным вечером реализуются и пологие входы (углы входа от 0 до 10°). 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.

С учетом этих условий были проанализированы исторические данные о болидах и метеоритных дождях, и к двум упомянутым выше членам семейства Тунгуса было добавлено еще 4 объекта. Все они перечисляются в таблице 1. В ней дата столкновения с Землей дается по единому времени (Гринвичскому), поэтому может отличаться от обычно приводимой даты по местному времени. Под координатами падения во всех случаях, кроме Боровского, имеется в виду координаты взрыва объекта или прекращения его полета. Для Боровского болида местом падения его остатков считается точка нахождения хондритного метеорита Кольцово, который считается осколком этого болида. Углы входа, там, где они есть, расчетные. О них и о других характеристиках соответствующих объектов будет сказано далее.

Таблица 1

N	Объект	Дата	Солнечное время	Координаты падения (°)	Угол входа (°)	Ссылки
1	Тунгусский	30.06.1908	7:02:06	60.89; 101.90	51.2	[1]
2	Боровский	14.05.1934	Поздний вечер	54.75; 36.98	Малый	[8, 9]
3	Кубинский	14.02.2013	18:22	22.3; -80.55	30.0	[10 – 12]
4	Челябинский	15.02.2013	7:25:20	54.85, 61.20	8.6	[1]
5	Сан-Францисский	16.02.2013	19:35:46	37.6; -122.3	18.8	[13]
6	Флоридский	17.02.2013	Около 19:00	Неизвестны	Большой	[14]

Надо ясно понимать, что абсолютно точное причисление какого-либо объекта к семейству Тунгуса возможно только при точном определении его орбиты, чего, строго говоря, нет ни для одного из включенных в таблицу небесных тел. Даже орбита Челябинского объекта определена с погрешностями, не говоря уже о других (см. [1]). Однако, орбиты Кубинского, Сан-Францисского и Флоридского объектов, в силу того, что они вошли в атмосферу Земли в окрестности суток – двух вокруг даты входа Челябинского объекта, должны быть очень близки между собой при условии принадлежности к одному семейству. В отличие, скажем, от Башкирского болида, наблюдавшегося 11 февраля 2013 года [15], азимут которого

(~180°) был совершенно несовместим с траекториями объектов семейства Тунгуса, у трех выше перечисленных тел, таких проблем не было. Поэтому вполне естественно считать их членами данного семейства.

Несмотря на то, что Боровский болид пролетел над центральной Россией несколько юго-западнее Москвы на глазах, видимо, у миллионов советских людей, ни у одного из них не нашлось часов, чтобы зафиксировать точное время события. Даже обращение к его очевидцам через газету «Известия» К. Э. Циолковского ни к чему не привело [8]. Поэтому, никакие, даже прикидочные расчеты провести уже не удастся, как и доказать, что Боровский болид точно входит в семейство Тунгуса. Но все известные факты говорят именно об этом.

Перейдем теперь к семейству Орла (см. таблицу 2). В отличие от семейства Тунгуса на момент, когда из соображений, опирающихся только на логику и законы сохранения, было заявлено о его существовании [7], об орбите хотя бы одного его члена ничего известно не было.

Таблица 2

N	Объект	Дата	Солнечное время	Координаты падения (°)	Угол входа (°)	Ссылки
1	Храшчина	26.05.1751	Около 18:00	46.10; 16.33	–	[16]
2	Л'Эгль	26.04.1803	Ранний вечер	48.77; 0.63	–	[17]
3	Пултуск	30.01.1868	19:25	52.77; 21.27	30.6	[18, 19]
4	Невада	02.02.1894	22:14:30	38.16; –118.09	30.2	[20 – 22]
5	Дневного Света	09.08.1972	Около 14:30	Падения не было	Очень малый	[23, 24]
6	Куня-Ургенч	20.06.1998	16:21:40	42.25; 59.17	85.1	[25, 26]
7	Куско	25.08.2011	Вечер	–13.5; –72	Большой	[27]
8	Аризона	–	–	35.03; –111.02	45	[28, 29]

Однако, вскоре выяснилось, что по крайней мере, для трех кандидатов в члены этого семейства (объекта, породившего Пултусский метеоритный дождь, Болида Дневного света и метеорита Куня-Ургенч), хоть и с различной точностью, но, все-таки, орбиты были вычислены. Пултусский метеоритный дождь прошел к северу от Варшавы очень давно – почти полтора века назад [18, 19], метеорит Куня-Ургенч [25, 26] упал в Туркмении – стране, где астрономия не является широко распространенной дисциплиной. Поэтому, вряд ли можно ожидать точных данных по их орбитам.

В то же время, Большой Болид Дневного Света вошел в атмосферу Земли под рекордно малым углом, пролетел над западными районами США и Канады по очень длинной и очень пологой траектории, и, единственный из всех известных нам естественных небесных тел, снова ушел назад в космос [23, 24]. Условия для измерений параметров его орбиты должны были быть достаточно удобными, поэтому при конструировании орбиты семейства Орла будет ориентироваться в первую очередь на эти данные. По данным траекторных измерений, большая полуось исходной орбиты Болида Дневного Света могла достигать 1.665 астрономических единиц [24], что только на 0.56 % меньше, чем необходимо для резонанса с Землей 13:6. Оценивая реальную точность этих измерений, можно уверенно утверждать, что до сквозного прохода через земную атмосферу этот объект находился на резонансной орбите. С учетом данных по двум другим объектам, для семейства Орла было выбрано номинальное (базовое) значение перигелия, равное 0.975 астрономическим единицам. Номинальное наклонение считается равным 0. Отдельные его члены, конечно, могут иметь различные, но не слишком большие наклонения. Как показали расчеты характеристик Челябинского объекта, наклонение орбиты в несколько градусов очень слабо влияет на основные интересующие нас характеристики, такие как размеры, масса объекта и энергия его взрыва.

Является ли сам Орел (Л'Эгль) [17] членом семейства, названного его именем, так же как и метеорит Храшчина [16], совершенно достоверно узнать нам, видимо, уже не удастся. Однако, ясно, что никто не сможет доказать и обратное. Возможно, то же можно сказать и о болиде Куско [27]. В этот список включен и железоникелевый метеорит, образовавший около 50 тысяч лет назад известный Аризонский кратер (см. [28, 29]). Причины этого станут понятны из дальнейшего. Итак, итоговые результаты по орбите семейства Орла приведены в таблице 3. Данные базовой орбиты семейства Тунгуса взяты из работы [1].

Таблица 3

Семейство	Афелий	Перигелий	Большая полуось	Наклонение (°)	Период обращения
– Тунгуса	2.549	0.800	1.674	3.05	2.167
– Орла	2.374	0.975	1.674	0	2.167

Очевидно, что семейство Тунгуса – это те обломки кометы, которые при ее разрушении получили дополнительный импульс по ходу движения. Члены семейства Орла, в момент возникновения, наоборот, несколько потеряли в скорости, и именно поэтому в соответствии с законами движения в центральном поле тяготения [6] опередили членов другого семейства. Из-за этого после выхода на резонансные орбиты, они должны сблизиться с Землей на 16 месяцев раньше обломков семейства Тунгуса – примерно с января по апрель 2011 года в первый раз, и с конца июня по октябрь 2011 года – во второй раз, и так каждые 13 лет. Следует отметить, что при наблюдении объектов семейства Орла нет той жесткой связи с направлением на Солнце во время входа в атмосферу Земли, которая имеется у семейства Тунгуса [1, 7].

III. Характеристики еще двух членов семейства Тунгуса

В работах [1, 2] подробно рассматривались параметры двух членов семейства Тунгуса – Челябинского и Тунгусского кометных обломков и характеристики их взрывов. Базовые варианты расчетов снова представлены в таблице 1 под названиями ЧО-5 и ТО-3 соответственно. После того, как была отработана математическая модель, связывающая параметры движения небесных тел как в сфере действия Солнца, так и в сфере действия Земли, с массо-энергетическими характеристиками этих тел и с характеристиками взрывов, вызванных их разрушением в атмосфере, оказалось возможным при определенных условиях оценивать эти параметры и характеристики, имея минимальную информацию об объекте, если он принадлежит к одному из двух рассматриваемых семейств.

Таблица 4

var	i (°)	v (км/с)	δ (°)	ρ (кг/м ³)	D (м)	m (Мт)	E_0 (Мт)	E_e (Мт)
ТО-3	0	17.37	51.2	500	115	0.40	14.3	14.3
ЧО-5	3.05	17.52	8.60	500	195	1.94	71.1	57.8
КО-1	3.05	16.86	30.0	500	91	0.20	6.8	6.3
КО-2	3.05	16.86	30.0	500	79	0.13	4.4	4.0
СФО-1'	3.05	16.89	18.9	500	195	1.94	66.0	64.2

Так как время входа в атмосферу Земли Кубинского и Сан-Францисского объектов отличается от времени Челябинского обломка только на сутки с небольшим, то их орбиты должны быть очень близки. Кроме всего прочего это означает, что их векторы скорости входа были практически параллельны. Исходя из этого условия, расчеты входа в атмосферу Кубинского и Сан-Францисского объектов можно было проводить, не имея из наземных наблюдений азимута их траекторий входа. При известной плотности этих объектов (500 кг/м³ как у Челябинского и Тунгусского объектов) для полного, хотя и несколько приближенного расчета, кроме времени и координат их взрыва, нужно иметь только еще один параметр.

Собственно говоря, для них не было известно даже этого, однако в сообщениях об инциденте, произошедшем на Кубе в окрестностях города Родас, говорилось о вспышке «размером с автобус» при взрыве, а также о том, что «дрожали стекла и стены, тряслись крыши» [10, 11]. Судя по описаниям, взрыв объекта произошел «сразу после 8 часов вечера» [12] вблизи небольшого местного водохранилища. По этим данным и были определены приближенные координаты и время инцидента. Так как о заметном количестве разбитых стекол не сообщалось, было рассчитано два варианта характеристик – при перепаде давления на ударной волне в эпицентре 5 и 2.5 кПа. Первая величина считается границей массового разбития стекол [2], а при втором значении перепада могут быть только случайные их разбития, вызванные какой-то местной интерференцией волн. При удалении от эпицентра перепад на волне, естественно, падал, а город Родас лежал от эпицентра в нескольких километрах в стороне. Сельские же хижины в тех местах, похоже, вообще не имеют стекол (см. рис. 1 [11]), так что выбранные 2 варианта граничного условия представляются достаточно адекватными.



Рис. 1

Скорость входа в атмосферу Земли болида над Родасом, была на 660 м/с ниже, чем Челябинского объекта из-за того, что первый двигался по вращению Земли, а второй – против. Кроме того некоторое значение имели широта входа, его ракурс, который у Кубинского объекта был около 258° , а также угол входа – 30.0° , оказавшийся равным типичному углу входа метеоритов. Как следует из расчетной величины азимута, которая на $2^\circ - 3^\circ$ может отличаться от реальной вследствие приближенности пересчета траекторий, болид двигался с запада на восток, с отклонением от этого направления к северу на 12° , со стороны заходящего Солнца. При указанных выше уровня максимального воздействия на подстилающую поверхность, размер Кубинского кометного обломка находился в диапазоне 80 – 90 м, его масса была на уровне полторы – две сотни тысяч тонн, а энергия взрыва составила 4 – 6 Мт. Однако из-за высоты взрыва 18 – 21 км, на поверхности земли ничего существенного он сделать не смог – не хватило либо массы, либо крутизны траектории входа, либо и того и другого вместе взятых, см. строки КО-1 и КО-2 таблицы 5.

Таблица 5

var	H (км)	L ₀ (км)	P ₀ (кПа)	L ₁ (км)	P ₁ (кПа)	L ₂ (км)	P ₂ (кПа)	L ₃ (км)	P ₃ (кПа)
ТО-3	7.73	0	97.0	20	30.0	35	11.3	90	3.1
ЧО-5	25.5	0	14.6	20	11.5	35	9.6	90	5.0
КО-1	18.4	0	5.0	20	4.4	35	3.9	90	1.7
КО-2	20.7	0	2.5	20	2.3	35	2.1	90	1.1
СФО-1'	13.3	0	59.6	20	44.8	35	27.8	90	6.1

Очевидно, что Сан-Францисский болид был гораздо меньше, и никаких материальных следов на Земле или на водной поверхности залива он не оставил. Ни одна служба США, как будто бы, не засекала высоту прекращения его полета, поэтому о его размерах, массе и мощности его взрыва можно только гадать. Однако, автору этой статьи стало интересно, что было бы, если бы вместо этого небольшого болида по его траектории в центр Южной бухты Сан-Францисского залива с расчетным азимутом 268° упал бы Челябинский обломок. Такой виртуальный вариант фигурирует здесь под именем СФО-1'. И достаточно посмотреть в последние строки таблиц 4 и 5, чтобы убедиться, что ничего хорошего бы не было. При угле входа 18.9° – в 2.2 раза большем, чем у реального Челябинского объекта, виртуальный Сан-Францисский, взорвавшись на высоте чуть больше 13 км с энергией 64 Мт, уничтожил бы практически всю конурбацию залива Сан-Франциско. По крайней мере, в соответствии с расчетами, «лесоповал» типа Тунгусского

прошел бы в радиусе 33 км от эпицентра на площади около 3500 км², накрыв бы залив, восточное побережье и более удаленные районы, полуостров и прибрежную океанскую зону (см. таблицу 5).

IV. Характеристики трех членов семейства Орла и одного железоникелевого метеорита

Используя орбиту, описанную в последней строке таблицы 3, попробуем оценить характеристики некоторых членов семьи Орла, о которых можно найти достаточное количество информации. Таких пока оказалось 3: объект ПО-1, породивший Пултусский метеоритный дождь 1868 года, между прочим, самый сильный из известных [18], Большой Невадский метеор 1894 года НО-1 и Куня-Ургенчский (Туркменский) метеорит 1998 года КУО-1 (см. таблицы 2, 6, 7). Из таблиц 6, 7, кажется, все должно быть ясно, однако дополним их короткими комментариями.

Таблица 6

var	i (°)	v (км/с)	δ (°)	ρ (кг/м ³)	D (м)	m (Мг)	E ₀ (Мг)	E _e (Мг)
ПО-1	0	12.87	30.6	500	19.5	0.002	0.038	0.017
НО-1	0	12.75	35.6	500	117	0.42	8.4	8.1
КУО-1	0	12.99	85.1	500	68.5	0.084	1.7	1.65
АО-1	–	12.80	45.0	7850	42	0.31	6.0	3.3

Таблица 7

var	H (км)	L ₀ (км)	P ₀ (кПа)	L ₁ (км)	P ₁ (кПа)	L ₂ (км)	P ₂ (кПа)	L ₃ (км)	P ₃ (кПа)
ПО-1	42.0	0	0.0	20	0.0	35	0.0	90	0.0
НО-1	12.1	0	18.4	20	10.8	35	7.2	90	1.6
КУО-1	12.0	0	4.8	20	3.3	35	2.5	90	0.9
АО-1	0	0	–	20	5.7	35	2.8	90	0.9

Скорость входа в атмосферу всех членов семейства Орла на 4 – 4.5 км/с меньше, чем скорость членов семейства Тунгуса, что объясняется значениями перигелийного расстояния у этих групп, близкого к радиусу обращения Земли вокруг Солнца у этого семейства. Пултусский и Невадский объекты заходили, в целом, с запада под довольно большими углами, а угол входа Туркменского объекта был настолько велик, что его азимут уже практически не имел значения. Азимут Большого Невадского метеора, составивший примерно 305°, определен по показаниям свидетелей того события [21], и его наклон по отношению к направлению запад-восток (35°) является по тем данным практически максимально возможным. А расчеты показывают, что при уменьшении этого наклона размеры и масса этого объекта, а также энергия вызванного его разрушением взрыва растут. Так что НО-1 – это, практически, «минимальный расчетный Большой Невадский метеор». Но, даже в таком варианте, его масса оказалась на 5 % больше, чем у базового варианта Тунгусского кометного обломка ТО-3.

Пултусский же обломок оказался самым маленьким из всех рассмотренных (размер – около 20 м, масса – около 2 тысяч тонн). Энергия его взрыва – 17 кт оказалась, по оценкам близка к энергии Хиросимского взрыва, и, естественно, тоже была наименьшей из всех рассмотренных. Видимо, именно благодаря этому метеоритный дождь был самым интенсивным в истории – при такой малой мощности взрыва многие хондритные осколки поверхностной корки этого небольшого кометного обломка не были превращены в пыль и плазму, а сохранились после взрыва и долетели до земли. А из-за высоты взрыва в 42 км ударные волны до земли практически не дошли, см. таблицу 7.

Туркменский обломок кометы при своих не слишком впечатляющих габаритах по почти предельно крутой траектории добрался до границы тропосферы, вызвав высотный взрыв, мощность которого была как у первого советского двухступенчатого термоядерного заряда РДС-37 [2], но высота взрыва была такова, что на подстилающей поверхности в пустынной местности последствия от него были совершенно незначительными, см. таблицу 7.

Теперь следует обсудить четвертый объект из таблиц 6 и 7. Но, для начала, необходимо вернуться к метеориту Храшчина, включенному в список семейства Орла на первый взгляд, незаконно. У него и время падения как будто бы несколько выходит за пределы «осевого времени» первого окна сближения с Землей членов этого семейства: конец января – конец апреля, раз в 13 лет. Но, самое главное – в отличие от всех других осколков и метеоритных дождей, он был не хондритным, а железоникелевым [16]. Конечно, железоникелевый метеорит массой в несколько килограммов может попасть в комету и там остаться, а после ее распада оказаться в каком-нибудь обломке, и в таком качестве, в конце концов, оказаться на Земле. Рис. 2 (автор – М. W. Haidinger, [16]), выполненный по описаниям очевидцев, как будто бы, иллюстрирует

выполнение именно такого сценария. Однако, по мнению автора, настоящее описание тех событий может оказаться гораздо интереснее.

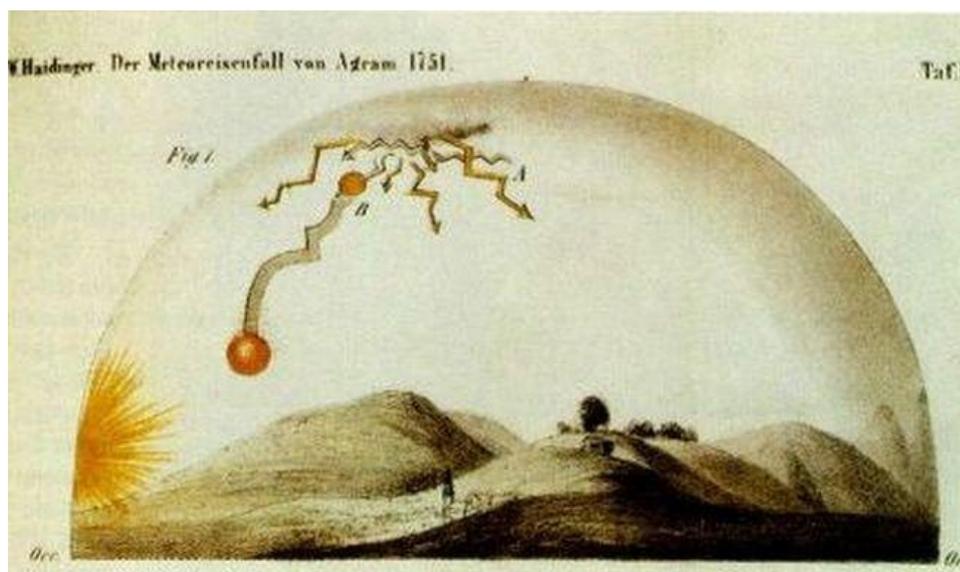


Рис. 2

Как известно, около 50 тысяч лет назад в пустыне на территории современного американского штата Невада в результате падения железоникелевого метеорита возник кратер, известный под названиями Аризонский кратер, Каньон Дьявола (Canyon Diablo Crater) или кратер Бэрринджера (Barringer Crater), см. рис. 3. Первоначально предполагалось, что скорость входа этого метеорита была около 20 км/с, однако после тщательных исследований пород этого кратера скорость была снижена до 12.8 км/с [28]. И эта последняя величина оказалась очень близка к скоростям входа в атмосферу членов семейства Орла. Время, прошедшее с последнего соударения образца вещества, входившего в состав Челябинского обломка и приведшее к его «полураздробленному» состоянию, определено в «несколько десятков тысяч лет» [3]. Самый видный представитель семейства Орла – Большой Невадский метеор 1894 года упал в соседнем штате. И, наконец, столкновение прочного и плотного железоникелевого тела с достаточно рыхлым ядром кометы – неупругое. Это означает, что скорость ударника-пенетратора после столкновения не будет заметно отличаться от скоростей кометных обломков. А вместе с какой группой из них он будет двигаться – это зависит в первую очередь от направления удара, и результатов разрушения.



Рис. 3

Таким образом, ни один из известных фактов не противоречит гипотезе, что ядро кометы, породившей Челябинский и Тунгусский объекты, а также Большой Невадский метеор, и еще сотни и тысячи достаточно крупных обломков [7], было разрушено более 50 тысяч лет назад в результате столкновения с железоникелевым метеоритом, который вместе с обломками также оказался на резонансной орбите и через некоторое время упал на Землю, создав Каньон Дьявола. Подтвердить или поставить под сомнение достоверность данной гипотезы можно, определив, принадлежали ли обломки Аризонского метеорита и метеорит Храшчина к одному и тому же небесному телу. Хорошо было бы также провести полноценное математическое моделирование этого процесса столкновения.

Так как кометное ядро было разрушено, а пенетратор стал, по данной гипотезе, двигаться с группой Орла – обломками из хвостовой части кометного ядра, уменьшившими скорость движения в результате этой катастрофы, то, по-видимому, угол между векторами скорости кометы и метеорита до столкновения был достаточно острым. Это означает близость их орбит, и удар либо «в лоб», либо «вдогон». Так как подавляющее большинство тел Солнечной системы движутся в одном направлении, то второй вариант соударения является намного более вероятным.

Параметры Аризонского метеорита в том же стиле, что и для всех предыдущих объектов, показаны в последних строках таблиц 6 и 7. Однако в отличие от всех них он упал на поверхность Земли и образовал там кратер. Поэтому, в первой строке таблицы 8, поименованной АО-1, его параметры показаны вместе с расчетными характеристиками созданного им кратера. Здесь ρ_t – плотность вещества мишени, в которую ударяет метеорит, d_0 – диаметр переходного (transient) кратера, h_0 – глубина переходного кратера, d_1 и h_1 – соответственно, диаметр и глубина окончательно сформировавшегося кратера. Плотность пород на Земле – 2500 кг/м^3 , плотность ядра кометы – 500 кг/м^3 .

Таблица 8

var	v (км/с)	δ (°)	ρ_t (кг/м ³)	d_0 (км)	h_0 (км)	d_1 (км)	h_1 (км)	E_0 (Мт)	E_e (Мт)
АО-1	12.8	45.0	2500	0.95	0.34	1.19	0.25	6.0	3.3
АО-2	5.0	90.0	500	1.38	0.49	1.73	0.37	0.91	0.91
АО-3	10.0	90.0	500	1.87	0.66	2.34	0.50	3.65	3.65
АО-4	15.0	90.0	500	2.23	0.79	2.79	0.60	8.2	8.2

Таким образом, Аризонский метеорит, по расчетам, образовал кратер диаметром 1.19 км и глубиной 0.25 км при реальных среднем поперечном размере «около 1.2 км» [28] и глубине по разным данным от 0.21 [30] до 0.265 км [29] (с учетом толщины осадочных и раздробленных пород, заполнивших его самую нижнюю часть). Так что и в этом случае согласование расчетных и наблюдаемых данных вполне удовлетворительное. Поэтому, можно оценить, какого размера кратер возник бы от удара этого метеорита в ядро кометы. Когда диаметр кратера становится соизмерим с размером тела, в котором он образуется, возникают погрешности в работе модуля, предназначенного для определения размеров кратера в «полубесконечной» среде [31, 32]. Однако для качественной оценки ситуации можно все-таки попытаться его использовать. В таблице 8 показаны 3 варианта столкновения метеорита с мишенью, плотность вещества которой совпадает с расчетными значениями плотности рассматриваемых здесь кометных обломков. В «полубесконечной» среде при увеличении скорости столкновения от 5 до 15 км/с диаметры и глубины как переходного, так и окончательного кратера выросли бы примерно 1.6 раза, объемы – 4.2 раза при увеличении энергии взрыва в 9 раз.

Известно, что образование кратера с диаметром $\frac{1}{3}$ от диаметра небесного тела еще не привело к его разрушению, см. фотографию спутника Сатурна Мимаса (рис. 4). Считается, что этот удар «чуть не расколол Мимас» [33]. Можно ожидать, что если диаметр кратера достигает половины размера небесного тел, то оно расколется. Следовательно, для того, чтобы разрушилось ядро небольшой кометы размером 3 – 5 км (см. [34]), по-видимому, должно было хватить удара Аризонского метеорита со скоростью около 5 – 10 км/с, то есть вдогон. Даже если в этих оценках и имеются ошибки в десятки процентов, этот качественный вывод вряд ли может быть оспорен. Ударные волны в веществе ядра его разорвали, а метеорит после неупругого удара оказался среди обломков хвостовой части кометы, то есть семейства Орла. Маленький кусочек от него откололся, застрял в одном из обломков, и спустя несколько десятков тысяч лет упал на Землю как метеорит Храшчина.

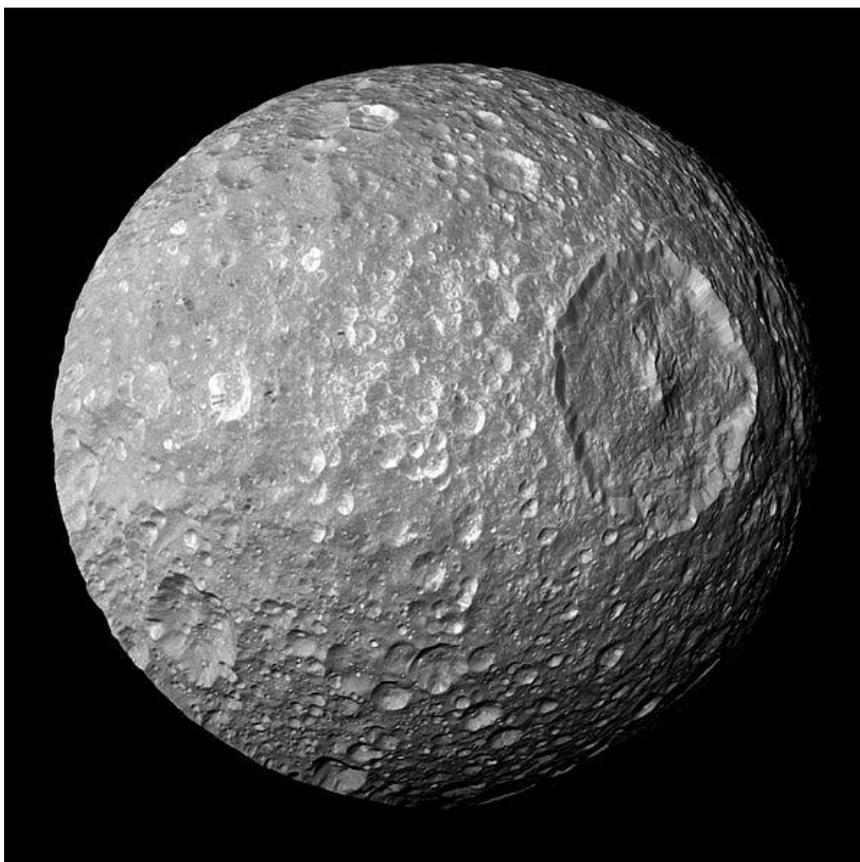


Рис. 4

На качественном уровне все эти рассуждения представляются вполне правдоподобными и не имеют каких-либо видимых противоречий. Доказательство или опровержение этой гипотезы – дело будущего.

Выводы

1. Приведены расчетные параметры двух новых объектов, также входящих в семейство Тунгуса – Кубинского и Сан-Францисского.
2. Показано, что размер Кубинского кометного обломка был около 80 – 90 м, а энергия его взрыва составляла 4 – 6 Мт.
3. Продемонстрировано, что если бы по траектории Сан-Францисского обломка пролетел бы Челябинский, то конурбация Сан-Францисского залива перестала бы существовать после взрыва с энергией около 64 Мт на почти оптимальной высоте для возникновения сильных разрушений на максимальной площади.
4. Определена базовая орбита второго семейства обломков этой кометы – семейства Орла и рассчитаны параметры трех его членов.
5. Показано, что Большой Невадский метеор 1894 года по размерам и массе мог превосходить Тунгусский обломок, однако энергия его взрыва была примерно вдвое меньше, а воздействие на подстилающую поверхность – многократно ниже вследствие большей высоты взрыва.
6. Предлагается к рассмотрению гипотеза о том, что оба рассматриваемых семейства кометных обломков возникли в результате столкновения ядра небольшой короткопериодической кометы с железоникелевым метеоритом, последующее падение которого на Землю привело к образованию Аризонского кратера около 50 тысяч лет назад. Качественное рассмотрение всех аспектов этой гипотезы на данный момент не выявило фактов, ей противоречащих.

Литература

1. Ю. И. Лобановский – Параметры Челябинского и Тунгусского объектов и характеристики вызванных ими взрывов. *Synerjetics Group*, 12.04.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/objects.htm>
2. Ю. И. Лобановский – Оценка адекватности условий на ударной волне вдали от эпицентра взрыва. *Synerjetics Group*, 19.04.2013 // <http://synerjetics.ru/article/border.htm>
3. Возраст челябинского метеорита – почти 300 млн. лет. *ИТАР-ТАСС*, 19.03.2013 // <http://www.itar-tass.com/c23/680067.html>

4. Frost line (astrophysics). *Wikipedia* // [http://en.wikipedia.org/wiki/Frost_line_\(astrophysics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Frost_line_(astrophysics))
5. Метеорный поток. *Wikipedia* // http://ru.wikipedia.org/wiki/Метеорный_поток
6. В. И. Левантовский – Механика космического полета в элементарном изложении. Москва, Наука, 1980.
7. Ю. И. Лобановский – Первоочередная задача оценки остроты кометно-метеоритной угрозы. Меморандум. *Synerjetics Group*. 28.03.2013 // <http://www.synerjetics.ru/article/memorandum.htm>
8. Г. Т. Черненко – Письма о небесном камне. «Земля и Вселенная», N 3, 1985 // <http://tunguska.tsc.ru/ru/science/mat/oche/61-91/061/?print=on>
9. Entry for Koltsovo. *Meteoritical Bulletin Database* // <http://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=30742>
10. Antes que en Rusia, meteorito estalló en Cuba. *Diario La República*, 16.02.2013 // <http://diariolarepublica.net/antes-que-en-rusia-exploto-un-meteorito-en-cuba/>
11. В. Cuartero – Impactó meteorito en Rodas, Cienfuegos. *Cienfuegos Hoy*, 16.02.2013 // <http://www.cienfuegoshoy.com/2013/02/impacto-meteorito-en-rodas-cienfuegos.html>
12. Reportan que un meteorito cayó en Cuba. *Diario Inform*, 16.02.2013 // <http://diarioinforme.net/internacionales/reportan-que-un-meteorito-cayo-en-cuba>
13. Shooting Star (Meteor) across San Francisco. *Видео*, 15(16).02.2013 // http://www.youtube.com/watch?v=HLpTOcl8_8&feature=player_embedded
14. M. Alter – Meteor shower in South Florida video: Possible meteor sighting Sunday night caught on video. *News Channel*, 18.02.2013 // http://www.wptv.com/dpp/news/local_news/water_cooler/meteor-shower-in-south-florida-video-possible-meteor-shower-sighting-sunday-night-caught-on-video
15. Г. Бахшиева, Г. Набиева, А. Рахимкулова – Жители Башкирии стали свидетелями падения метеорита. *Башинформ.рф*, 14.02.2013 // <http://www.bashinform.ru/news/531051/>
16. Hraschina meteorite. *Wikipedia* // http://en.wikipedia.org/wiki/Hraschina_meteorite
17. L'Aigle (meteorite). *Wikipedia* // [http://en.wikipedia.org/wiki/L'Aigle_\(meteorite\)](http://en.wikipedia.org/wiki/L'Aigle_(meteorite))
18. Pultusk (meteorite). *Wikipedia* // [http://en.wikipedia.org/wiki/Pultusk_\(meteorite\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Pultusk_(meteorite))
19. C. C. Wylie – The Orbit of the Pultusk Meteor. *SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS)*, 18.04.1940 // <http://adsabs.harvard.edu/full/1940PA....48..306W>
20. T. Darby – Silver Sidings: The Great Nevada Meteor of 1894 // <http://tomdarby.me/2013/02/17/silver-sidings-the-great-nevada-meteor-of-1894/>
21. T. Mahood – Great Nevada Meteor of 1894 – Summary of Press Observations // <http://www.otherhand.org/wp-content/uploads/2012/03/Summary-of-press-observations.pdf>
22. P. I. Earl – Great Nevada Meteor of 1894. *Henderson Home News and Boulder City News*. 20.08.1981 // <http://digitalcollections.mypubliclibrary.com/digital/11/3175/1/19.pdf>
23. 1972 Great Daylight Fireball. *Wikipedia* // http://en.wikipedia.org/wiki/1972_Great_Daylight_Fireball
24. US19720810 (Daylight Earth grazer). *Global Superbolide Network Archive* // <http://www.fis.unipr.it/~albino/ITASN/GSNA/US19720810/US19720810.html>
25. В. А. Бронштэн – Метеорит Куня-Ургенч. *Природа*, N 3, 1999 // <http://nature.web.ru/db/msg.html?mid=1178667&uri=page2.html#part3>
26. С. Мухамедназаров – Наблюдение болида и падение первого крупного метеорита в Туркменистане. *Астрокурьер. Экстренный выпуск*, июль 1998 // <http://astrocourier.chat.ru/1998/98july/98july.htm>
27. Метеорит в небе над Перу. Август 2011 г. *HTB*, 29.08.2011 // <http://www.youtube.com/watch?v=cIRS9XabcDY>
28. Meteor Crater. *Wikipedia* // http://en.wikipedia.org/wiki/Meteor_Crater
29. G. P. Vdovkin – The Canyon Diablo Meteorite. *SAO/NASA Astrophysics Data System (ADS), Space Science Reviews*, 14, Issue 6, 1973 // http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-article_query?bibcode=1973SSRV...14..758V&db_key=AST&page_ind=0&plate_select=NO&data_type=GIF&type=SCREEN_GIF&classic=YES
30. О. Добровидова – Из Челябинска с любовью: как в Америке обсуждали метеорит. *РИА-Новости, Наука*, 15.04.2013 // <http://ria.ru/science/20130415/932637522.html>
31. R. Marcus, H. J. Melosh, G. Collins – Earth Impact Effects Program. *Imperial College (London), Purdue University* // http://impact.eise.ic.ac.uk/cgi-bin/crater.cgi?dist=20&diam=17&pdens=1000&pdens_select=0&vel=18&theta=30&tdens=&tdens_select=3000
32. G. S. Collins, H. J. Melosh, R. A. Marcus – Earth Impact Effects Program: A Web-based computer program for calculating the regional environmental consequences of a meteoroid impact on Earth. *Meteoritics & Planetary Science*, 40, no 6, 2005 // <http://impact.eise.ic.ac.uk/ImpactEffects/effects.pdf>
33. Мимас (спутник). *Wikipedia* // [http://ru.wikipedia.org/wiki/Мимас_\(спутник\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Мимас_(спутник))
34. Комета Энке. *Wikipedia* // http://ru.wikipedia.org/wiki/Комета_Энке