РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И ПОЛЕВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТУНГУССКОЙ КОСМИЧЕСКОЙ КАТАСТРОФЫ (К 110-ЛЕТИЮ СОБЫТИЯ 1908 ГОДА)

Злобин Андрей Евгеньевич

Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана
кандидат технических наук, инженер-механик, математик
aezlobin@yandex.ru

«Не исключено, что в чем-то недалек от истины
А.Е.Злобин (1996), считающий, что физику
Тунгусского явления придется еще в будущем
переписывать едва ли не с «чистого листа».
(Академик Н.В.Васильев)

30 июня 2018 года исполняется 110 лет со дня космической катастрофы, которую принято называть падением Тунгусского метеорита. Событие, имевшее место между 7 и 8 часами утра в районе реки Подкаменная Тунгуска, различными авторами описано настолько подробно, что повторять это описание еще раз не имеет смысла. Сошлемся здесь на монографию академика Н.В.Васильева, который посвятил изучению Тунгусской катастрофы 40 лет жизни [6]. Напомним только, что на памяти человечества Тунгусское падение стало самым опасным столкновением нашей планеты с крупным космическим телом, зафиксированным приборами в самых разных уголках земного шара. Именно поэтому 30 июня во всем мире отмечается как «День астероида».

История исследований Тунгусского метеорита трагична. Последние полвека мировая научная общественность пребывала в заблуждении, считая, что траектория Тунгусского метеорита проходила «почти с востока на запад». Причиной заблуждения стала форма лесоповала площадью 2000 квадратных километров, вызванная разрушением Тунгусского тела и имевшая характерную форму «бабочки» (Рис.1). Отождествив ось симметрии лесоповала с проекцией траектории, направление движения метеорного тела развернули почти на 90 градусов от действительного. Так и родилась «загадка Тунгусского метеорита», для разрешения которой было выдвинуто множество гипотез. Было проведено множество экспедиций, написаны сотни статей и книг, и уже мало кто задумывался, почему большинство очевидцев космической катастрофы указывали совершенно другое направление – «почти с юга на север».

Посвятив изучению Тунгусской катастрофы 30 лет, автор настоящей статьи считает необходимым реабилитировать первых исследователей Тунгусского падения, искавших метеорит не в западном, а в северном направлении. Ниже будут приведены доводы, побудившие автора оценивать событие 30 июня 1908 года практически с чистого листа. Слово «практически» нужно понимать в том смысле, что многие собранные за 110 лет данные о Тунгусском метеорите являются достоверными, тогда как их интерпретация должна быть кардинально пересмотрена. Автору пришлось серьезно пересмотреть и свои ранние публикации, опиравшиеся в основном на результаты исследований второй половины XX века [17,20]. Далее Тунгусский метеорит по-прежнему идентифицируется автором как ядро кометы. При этом значительная часть статьи представляет собой новые данные, существенно уточняющие картину газодинамических и тепловых процессов, сопровождавших разрушение в атмосфере метеороида 1908 года. Впервые на русском языке публикуются данные квазитрехмерного математического моделирования Тунгусского падения, совместного анализа тонкой структуры полей вывала леса и ожога, материалы о структуре ядра кометы, размерах его фрагментов, данные о составе и плотности вещества, заключительном механизме разрушения ядра в атмосфере.

Как уже неоднократно отмечалось многими исследователями, собранный массив информации о Тунгусской катастрофе представляется более чем достаточным для подробного всестороннего анализа и построения весьма точной математической модели явления. Особо следует отметить массу данных о характеристиках вывала леса и ожоговых повреждениях

ветвей деревьев. На изучении этой информации автор сосредоточил свои усилия, уделяя особое внимание тонкой структуре полей вывала и ожога.

Данные о массовом вывале леса в районе Тунгусской катастрофы были собраны и предварительно обработаны математиком В.Г.Фастом и соавторами [45]. В 1988 году В.Г.Фаст передал автору этих строк каталог повала леса и свои сборники с публикациями о Тунгусской катастрофе. При внимательном рассмотрении поля средних направлений поваленных деревьев (Рис.1) обращает на себя внимание аномалия в его южном секторе. Эта аномалия имеет форму «подковы» с размерами порядка 15-20 километров и отличается характерной тонкой структурой. Подобные «подковы» хорошо известны акустикам, как районы фокусирования волн давления (каустика) в пределах зоны звукового удара [49]. Максимум избыточного давления в форме подковы реализуется на поверхности земли при движении тела в атмосфере со сверхзвуковой скоростью, и, как правило, имеет место при изменении угла наклона траектории. Так как Тунгусское космическое тело двигалось в атмосфере с большой сверхзвуковой скоростью, указанную аномалию в южной области вывала леса можно с высокой вероятностью интерпретировать как след конуса баллистической ударной волны. В пользу именно такой интерпретации аномалии говорят ее размеры, тонкая структура, характерная для газодинамической особенности, а также закономерная эллиптичность формы (сечение конуса). Направление подковы свидетельствует в пользу траектории метеорного тела «почти с юга на север» [2,3,4].

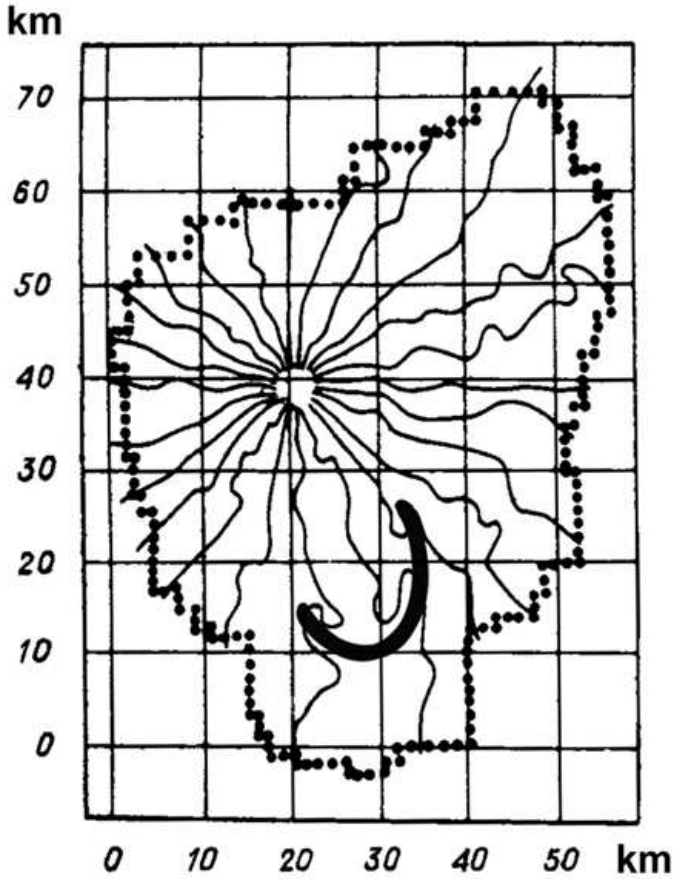


Рис.1 Аномалия в форме «подковы» в южном секторе лесоповала (выделено автором)

Долгое время никто из исследователей не брался за обработку данных по ожогу ветвей деревьев [8,16,34]. Общая площадь ожога, вызванного падением Тунгусского метеорита, превысила 200 квадратных километров [34]. Обработка собранной информации тормозилась отсутствием в справочниках информации о теплофизических свойствах коры ветвей сосны и лиственницы. Было решено восполнить этот пробел. В летние периоды 1989-1990 гг. автор провел эксперименты по нагреву живых ветвей сосны и лиственницы в различных условиях.

Отдельно исследовался также интенсивный нагрев коры живых веток (до обугливания). Полученные экспериментальные данные позволили уточнить теплофизические характеристики ветвей и коры и вычислить величину теплового импульса, необходимого для их ожогового поражения.

Нагрев образцов веток, как с корой, так и без коры, производился при погружении их в емкость с кипящей водой, температура которой постоянно измерялась и составляла 100°С. Образцы нагревались и при непосредственном контакте с водой, и в условиях «сухого» нагрева. В последнем случае образец, перед погружением в воду, оборачивался герметичным слоем из высокотеплопроводной фольги толщиной 0,02 мм.

Образцы веток препарировались одной термопарой через отверстие диаметром 1 мм, выполненное вдоль оси ветки на глубину равную 0,5 длины образца (Рис.2). Спай термопары в процессе препарирования плотно прижимался к торцевой стенке отверстия. В зоне вывода термопары из образца отверстие обрабатывалось специальным герметиком, что исключало контакт спая с внешней средой. Важной чертой такого эксперимента является хорошее знание граничных условий теплообмена со стороны кипящей воды. При этом «сухой» и «влажный» нагрев образца позволяют учесть возможное наличие влаги на ветках в момент взрыва.

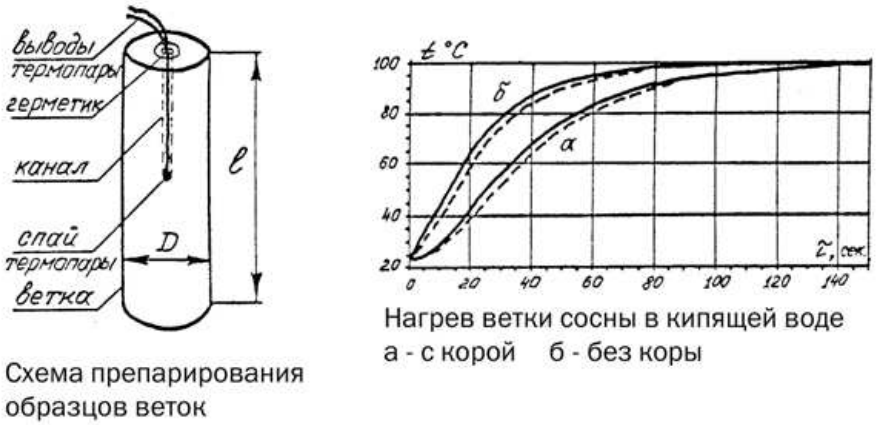


Рис.2 Эксперименты с ветками сосны и лиственницы

Нагрев образцов коры производился в условиях брикетов (несколько слоев коры в брикете). Слои коры в брикете располагались так, чтобы внутренняя поверхность одного слоя контактировала с внешней поверхностью другого. Термопары помещались между слоями коры (Рис.3). Брикеты коры нагревались при непосредственном контакте со стальной пластиной, помещенной на электрический нагреватель. Тепловой поток определялся исходя из известных характеристик электрического нагревателя.

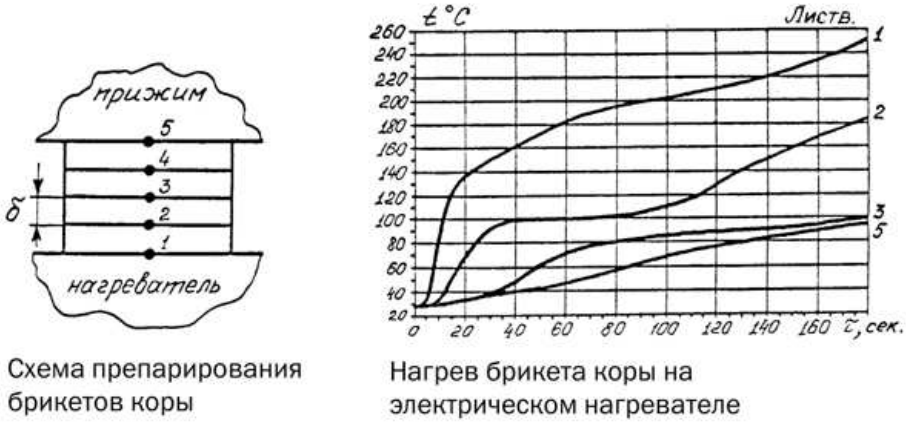
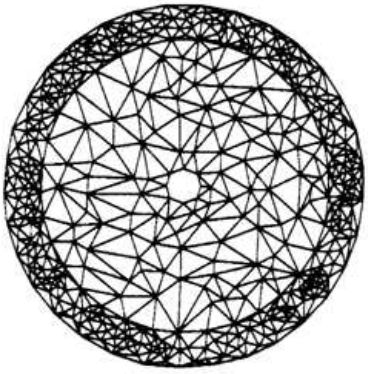


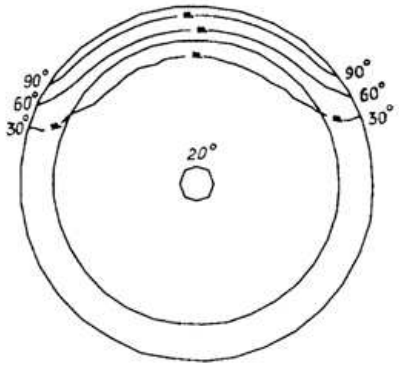
Рис.3 Эксперименты с корой сосны и лиственницы

Полученные теплофизические характеристики ветвей и коры позволили выполнить численное моделирование нагрева ветвей деревьев при заданных граничных условиях второго рода на их поверхности [71]. Математическое моделирование выполнялось на базе комплекса программ, предназначенного для расчетов двумерных нестационарных полей температур методом конечных элементов [43]. Комплекс позволяет рассчитывать поля температур в сложных составных и многосвязных областях с учетом различных теплофизических свойств подобластей и зависимости этих свойств от температуры. Ниже приводятся результаты одного из расчетов.

Численно моделировался нагрев ветки сосны на участке ее поверхности, ограниченном в сечении центральным углом 120 градусов. Диаметр ветки принимался равным 10,5 мм, толщина коры - 1,0 мм. Начальная температура составляла 20°С. Расчетная плотность теплового потока задавалась на поверхности ветки, ограниченной указанным центральным углом. На всей остальной поверхности, включая поверхность центрального отверстия под термопару, плотность теплового потока принималась равной нулю. В течение всего времени нагрева граничные условия теплообмена считались постоянными.



Сетка МКЭ для сечения ветки



Распределение температуры в сечении ветки сосны
tay=2 с J=10 Дж/см2

Рис. 4 Моделирование нагрева ветки сосны тепловым излучением Тунгусского метеорита

На Рис.4 приведена расчетная сетка МКЭ (300 узлов) для сечения ветки. Рядом показано распределение температур в сечении после воздействия на ветку в течение 2 секунд теплового импульса J = 10 Дж/см^2.

Как показали расчеты, после воздействия на ветку в течение 2 секунд теплового импульса J = 10 Дж/см^2, значительно успевает прогреться только слой коры (1 мм), тогда как уже на глубине 1,5 мм температура не превышает 30°С. При этом вблизи поверхности ветки температура коры достигает 100°С, а на внутренней границе коры 50 - 60°С.

Согласно данным опытов Р.М.Нельсона [51], хвоя сосны, ели и кедра отмирает при нагревании ее менее чем за 1 минуту до 60°С. Если допустить, что живая кора ветки может отмереть при близких условиях, или в случае кратковременного поверхностного «сваривания» ее при температуре 100°С, то проведенный расчет дает примерную нижнюю границу теплового импульса, необходимого для «слабого ожога».

Автором были проведены расчеты, которые позволяют, также, оценить верхнюю границу теплового импульса. Верхняя граница оценивалась при моделировании нагрева более толстых веток (до 17 мм), а также при моделировании нагрева почвы и ее отдельных частичек, поднятых в воздух в момент катастрофы [72].

Рассматривались два варианта нагрева кварцевого шлиха. Первый вариант - нагрев отдельной кварцевой частички, находящейся в воздухе (этот вариант соответствует раннему приходу ударной волны, и подъему значительной части шлиха (пыли) в воздух). Второй

вариант - нагрев кварцевого шлиха как сплошной среды, состоящей из множества частиц, и имеющей соответствующие такой сплошной среде теплофизические характеристики (фактически - нагрев поверхности песчаной почвы).

Расчеты нагрева шлиха, как для первого, так и для второго вариантов также выполнялись методом конечных элементов (двумерная нестационарная задача теплопроводности при заданных граничных условиях теплообмена на поверхности). Для отдельной кварцевой частички (0,3х0,3 мм) принимались теплофизические характеристики кварца. Для песчаной почвы - теплофизические характеристики сухого мелкого речного песка. Плотность теплового потока задавалась на поверхности, обращенной к источнику излучения. Считалось, что имеет место теплообмен с окружающим воздухом. Типичное распределение температур по глубине почвенного слоя при воздействии теплового импульса J=21 Дж/см^2 в течение 2 секунд приведено на Рис.5. Видно, что нагрев песчаной почвы отличается значительной неравномерностью. За 2 секунды температура поверхности почвы повышается до 240°С. Однако уже на глубине более 2-х мм температура не превышает 30°С.

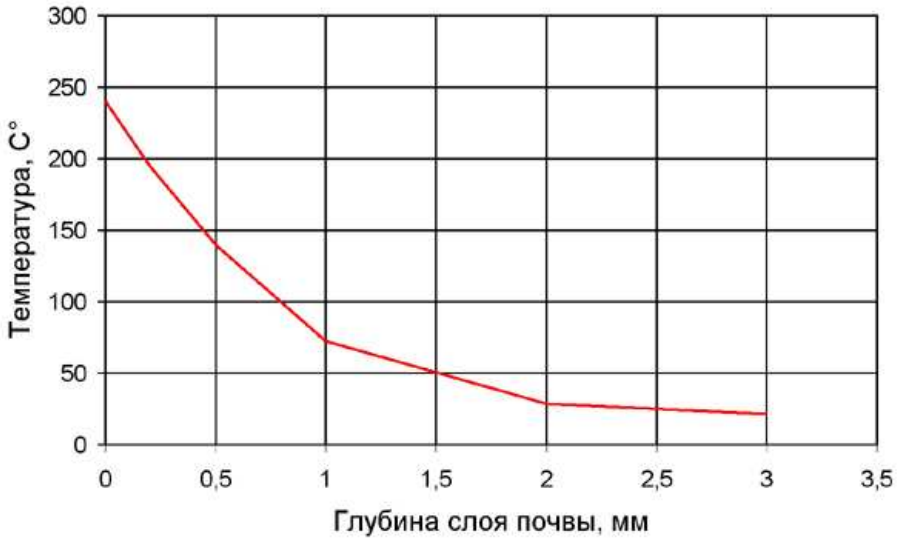


Рис.5 Моделирование нагрева почвы тепловым излучением Тунгусского метеорита

При оценке результатов этих расчетов необходимо учитывать следующие соображения. Во-первых, реальная почва характеризуется как «суглинок». Во-вторых, в момент катастрофы, утром, поверхность почвы могла быть не абсолютно сухой. В-третьих, тепловое воздействие Тунгусского взрыва могло быть в определенной степени экранировано растительностью. Кроме того, следует учитывать, что собранные на горе Стойкович легковоспламенимые гигроскопические лесные горючие материалы загораются при воздействии в течение 2 секунд теплового импульса J=25 Дж/см^2 [29] Таким образом, на основании проведенных экспериментов и расчетов, диапазон изменения теплового импульса в пределах поля ожога достаточно уверенно оценивается на уровне J=13-30 Дж/см^2.

В пользу того, что тепловой импульс существенно не превышал указанный диапазон значений, говорит многое. Действительно, при скорости накопления почв в районе катастрофы 0,2 мм/год, даже указанный тепловой импульс может привести к «свариванию» семян деревьев в почве (Рис.5). Однако в почве все же сохранились семена, обусловившие восстановление погибшего леса уже с 1909 - 1910 гг. [38].

Здесь нужно сделать отступление, чтобы немного рассказать об экспедиции. В 1988 году произошло сразу три события имевших отношение к Тунгусскому метеориту. Состоялись две конференции - в Томске и Красноярске, а также была организована экспедиция на место Тунгусского падения. Автор сделал доклады на обеих конференциях и вместе с их участниками отправился в экспедицию (Рис.6). Руководил экспедицией академик Н.В.Васильев.

Рис.6. Перед заброской в Тунгусскую тайгу. А.Е.Злобин (слева) и участник экспедиции Л.А.Кулика художник Н.И.Федоров у вертолета Ми-8 (1988 год)

Полагая заниматься в экспедиции только исследованием ожога и пожара 1908 года, автор убедился, что у Н.В.Васильева были и другие планы. Руководитель экспедиции предложил взять пробы торфа на обширной территории и начать из района Лаборатории, недалеко от озера Чеко. Пробы торфа брались с целью обнаружения вещества Тунгусского метеорита. Пройдя инструктаж на Заимке Кулика, автор отправился с Н.В.Васильевым в переход до Лаборатории, который занял весь день (Рис.7). В районе Южного болота некоторое время шли по свежим следам «пестуна» – молодого медведя. На Южном болоте сделали трехчасовую остановку, где взяли первую пробу торфа. Попутно Н.В.Васильев показал на местности и прокомментировал множество видимых следов события 1908 года.

Рис.7. Вдвоем на тропе. Привал. Н.В.Васильев рассказывает о событии 30 июня 1908 года (фото А.Е.Злобина, 1988 год)

Исследования торфа на месте Тунгусской катастрофы проводились автором в слое вечной мерзлоты (Рис.8). Пробные колонки торфа брались в районах Северного и Южного болота, районе Лаборатории, Пристани, болота «Бублик», в нескольких точках по Западному разрезу и др. Всего было исследовано более десятка колонок, содержавших катастрофный слой торфа. При этом особое внимание уделялось визуальной оценке следов теплового воздействия. Как показали проведенные на местности исследования, в катастрофном слое торфа присутствуют следы пожара 1908 года. Однако в общей массе обугленного материала встречаются опаленные, но не сгоревшие мелкие фрагменты веточек, стебельков, растительных волокон. Этот факт говорит о том, что тепловой импульс был вполне достаточен для воспламенения лесных легковоспламенимых материалов. Для их мгновенного испепеления, тем не менее, тепловой импульс был мал. В целом, имеет место картина крупного лесного пожара [13], возникшего одновременно на значительной площади.

Рис.8. А.Е.Злобин берет пробы торфа в районе Сусловской воронки на месте Тунгусской катастрофы (экспедиция 1988 года)

Полученный диапазон теплового импульса J=13-30 Дж/см^2 убедительно объяснил наличие ожоговых поражений ветвей деревьев тепловым воздействием Тунгусского метеорита и одновременно снял вопрос о другой природе этих поражений. Стало целесообразным дальнейшее изучение поля ожога с целью получения данных об источнике теплового излучения. Эта работа автором выполнялась на базе методов кластерного анализа и дала следующие результаты.

Анализировались данные исследований [8,16] и поле ожога ветвей деревьев, опубликованное в 1976 г. Ю.А.Львовым и Н.В.Васильевым [34]. Рассматривались только точки, в которых ожог был обнаружен. В процессе анализа учитывались координаты каждой точки и степень ожога (сильный, умеренный, слабый). Результаты кластерного анализа показаны на Рис.9. В границах поля ожоговых поражений хорошо видны три тела взрывов - центральное «А», восточное «В» и западное «С». Четвертое тело взрыва «D» видно на некотором расстоянии к северо-западу. Все четыре взрыва расположены примерно на расстоянии 7 километров друг от друга. Несколько южнее, практически на южной границе поля ожога, располагаются три подковообразные ожоговые структуры «Е». Эта картина интерпретируется автором как взрывы четырех фрагментов A,B,C,D Тунгусского космического тела и воздействие излучения тепловой каустики «Е». На основании Рис.9 можно сделать вывод о том, что все фрагменты метеорного тела были однородными по составу и имели малую плотность (кометный лед). Согласно выполненному автором математическому моделированию,

именно в этом случае, при пологой траектории движения, фрагменты равномерно разойдутся друг от друга на 7 километров. То есть, большое боковое удаление обусловлено пологой траекторией метеорного тела и мощными абляционными эффектами, сопровождающими высокоскоростное движение в атмосфере ледяных тел.

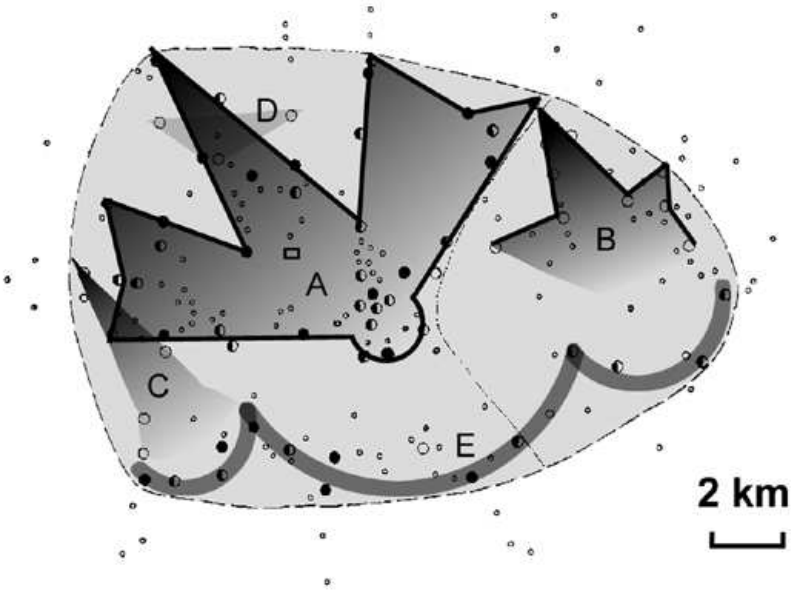


Рис.9. Результаты кластерного анализа поля ожога ветвей деревьев

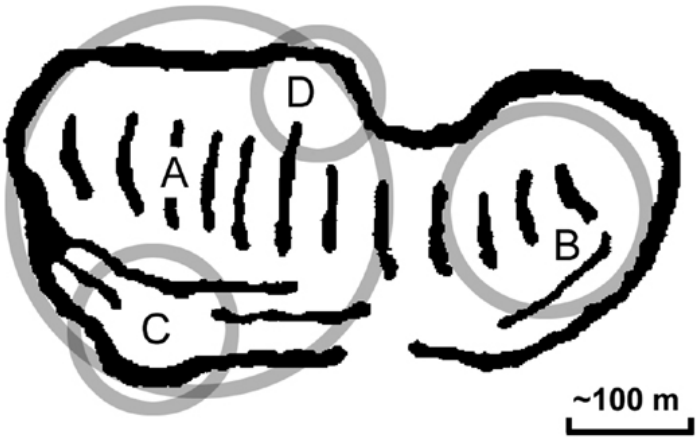


Рис.10. Рисунок очевидца Т.Н.Науменко
(вид Тунгусского метеорного тела из Кежмы, 30 июня 1908 года)

Представляет интерес сравнение Рис.9 и Рис.10, на котором изображено Тунгусское космическое тело в полете (рисунок очевидца Т.Н.Науменко [37] из населенного пункта Кежма). Имеет место хорошее соответствие между рисунком очевидца и тонкой структурой поля ожога. Примерный масштаб и визуализация четырех фрагментов A,B,C,D добавлены на Рис.10 автором статьи. Интересно также сравнить Рис.9 и Рис.10 с полученными к настоящему времени фотографиями комет «Галлея», «Hartley 2» и «Чурюмова-Герасименко». Сходство более чем очевидно.

При сравнении Рис.9, Рис.10 и Рис.1 становится понятен механизм формирования вывала леса в форме бабочки. Понятно, что северо-восточное крыло бабочки вывала было сформировано разрушением трех фрагментов Тунгусского метеорного тела A,B,C, растянувшихся при движении в атмосфере в северо-восточном направлении. При этом южное крыло вывала образовалось в основном под воздействием баллистической ударной волны

космического тела, существенно усиленной благодаря искривлению траектории на заключительном этапе.

Находит объяснение и карта [33] распределения зольного вещества в торфе, связанного с Тунгусской катастрофой (Рис.11). Большая и малая дуги на этой карте хорошо соответствуют картине взаимодействия ударных волн от двух мощных взрывов фрагментов «А» и «В» кометного ядра. Общее число отстоящих площадей с повышенной зольностью также хорошо соответствует числу фрагментов Тунгусской кометы – четыре.

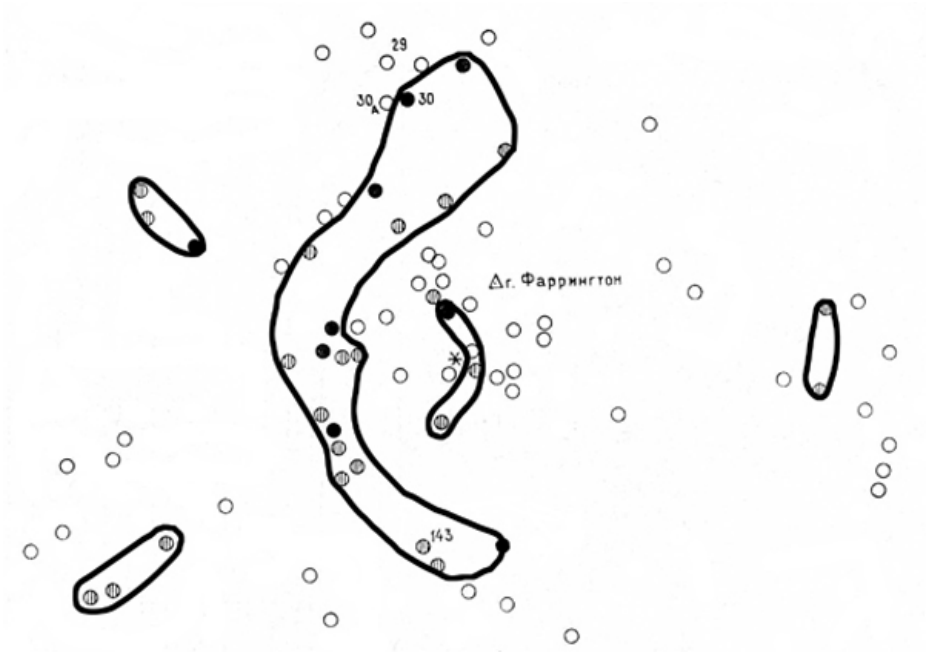


Рис.11. Карта распределения зольного вещества в торфе

На основании Рис.9 легко определяются соотношения между диаметрами фрагментов разрушившегося тела (см. Таблицу 1). На основании этого же рисунка, можно указать примерные относительные координаты тех районов местности, где существует вероятность обнаружения наиболее тяжелых частиц (фрагментов) вещества Тунгусского метеорита (см. Таблицу 2). Эти районы определяются как начальные точки разрушения фрагментов. В качестве «Базы» в Таблице 2 приняты координаты Заимки Кулика у подножья горы Стойкович.

Таблица1

Фрагмент	D, м	Относительный размер
A	295	$D_A = 1$
B	150	$D_A / D_B = 1,9$
C	120	$D_A / D_C = 2,4$
D	95	$D_A / D_D = 3,1$

Таблица 2

	X	**Y**
База	0,497	0,554
A	0,654	0,437
B	1,069	0,490
C	0,321	0,272
D	0,374	0,751

Многие исследователи неоднократно указывали на то, что решение обратной задачи типа «падения Тунгусского метеорита» требует наличия так называемой априорной информации. Пока такой информации не было, результаты любого моделирования Тунгусского феномена рассматривались скорее как концептуальные. Проведенный в настоящей работе анализ тонкой структуры полей вывала леса и ожога дал весьма подробную априорную информацию. Это позволило выйти на качественно новый уровень детализации математической модели и выполнить численное моделирование Тунгусского падения в квазитрехмерной постановке. Ниже приводится краткое описание основных этапов комплексного квазитрехмерного моделирования, а также его результатов.

Рассматривался вход в атмосферу твердого космического тела, состоящего из четырех фрагментов и имевшего среднюю плотность, характерную для льдов (по сути - ядра кометы). Предварительно, на базе решения нестационарной задачи теплопроводности, оценивалось распределение температуры по глубине ядра, и выполнялась оценка механических свойств льда в зависимости от глубины. Стандартные дифференциальные уравнения метеорной физики численно решались первоначально для ядра как единого целого, а после разделения фрагментов - для каждого фрагмента по отдельности. Как для всего ядра, так и для каждого фрагмента оценивались параметры газа в критической точке (точке торможения встречного потока), параметры тепло- и массообмена (унос массы), характеристики баллистической и абляционной волны, выполнялись оценки напряженного состояния ядра и каждого фрагмента, варьировались и рассчитывались параметры деформации фрагментов в процессе разрушения [11,12,56,57,60], а также расширение образовавшихся газовых объемов при априорно известной геометрии заключительных взрывов (см. Рис.9). На заключительном этапе выполнялись расчеты теплового воздействия на ветви деревьев, поверхность почвы, моделировался подъем в атмосфере облака продуктов разрушения и оценивалась величина локального геомагнитного возмущения. В расчетах принимались параметры стандартной экспоненциальной атмосферы. Начальный угол входа в атмосферу варьировался в соответствии с траекторией И.С.Астаповича в диапазоне 5°-7°. Скорость входа принималась равной 11,2 км/сек. Теплота абляции вещества метеорного тела - $2{,}5\cdot 10^6$ Дж/кг. Коэффицент теплопередачи изменялся в интервале 0,02-0,1.

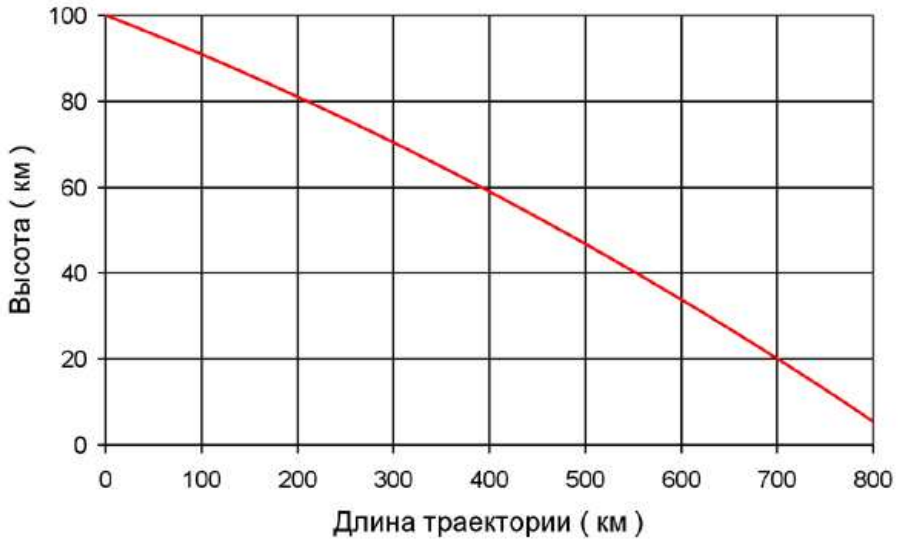


Рис.12. Длина атмосферной траектории в зависимости от высоты Тунгусского тела над поверхностью земли

Полученная в расчетах зависимость длины траектории от высоты метеорного тела над поверхностью земли приведена на Рис.12. Такая траектория хорошо согласуется с показаниями очевидцев Тунгусского падения, которые наблюдали это явление на огромном пространстве с

расстояния многих сотен километров. На Рис.13 схематично показана картина разделения Тунгусского космического тела на фрагменты, образования тепловой и газодинамической каустики (подковообразные ожоги и подкова вывала леса), а также формирования четырех заключительных взрывов. Направление траектории хорошо согласуется с данными И.С.Астаповича и показаниями большинства очевидцев Тунгусской катастрофы – «с юго-юго-востока на северо-северо-запад».

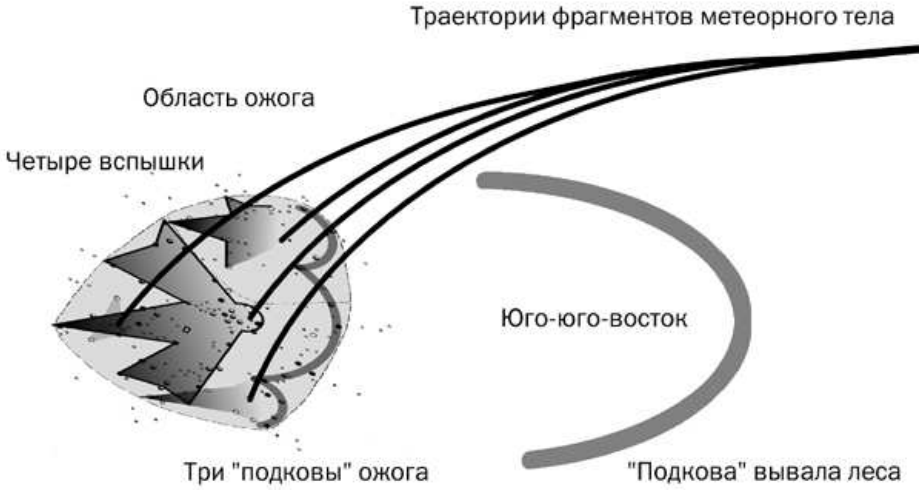


Рис. 13. Картина разделения Тунгусского космического тела на фрагменты перед окончательным разрушением

Расширение газовых объемов, образовавшихся вследствие быстрого разрушения четырех фрагментов метеорного тела, моделировалось численным методом PIC (particle-in-cell method) или методом «частиц в ячейках», развитым в Лос-Аламосе, США [48]. С этой целью автором настоящей статьи была создана компьютерная программа, реализующая PIC-метод и позволяющая непосредственно в процессе расчетов визуализировать движение частиц в ячейках. Следует отметить принципиальное отличие подхода автора от других работ, использующих прямое гидродинамическое моделирование импактных событий. В настоящей работе Тунгусское космическое тело и его фрагменты на протяжении всей атмосферной траектории являют собой твердые тела. До момента заключительных взрывов моделируется движение и разрушение именно твердых тел, а PIC-метод используется только для моделирования на последнем этапе собственно взрывов (быстрого расширения газовых объемов вследствие мгновенного испарения твердых ледяных тел). Расчеты PIC-методом выполнялись в предположении, что расширение основной массы газовых объемов происходит параллельно плоскости земли (т.е. ледяные фрагменты и соответствующие им газовые объемы как бы «расплющиваются» о плотные слои атмосферы). Такая картина быстрого торможения объемов вещества малой плотности (объемов сжатого газа) близка к теоретической модели, предложенной академиком Г.И.Петровым и В.П.Стуловым [41]. В процессе этих расчетов оценивались давления, скорости и температуры расширяющихся газовых объемов. Расчеты PIC-методом включали генерацию расчетной сетки, образующей ячейки, начальное позиционирование частиц, задание начальных и граничных условий, численное решение уравнений газовой динамики шагами по времени, предусматривающее последовательно эйлеров и легранжев этапы. Типичная расчетная сетка имела 50x50 ячеек. Для моделирования воздушной среды задавалось 4 частицы на ячейку. Для моделирования вещества космического тела – до 300 частиц на ячейку. Первоначально выполнялись тестовые расчеты для простой геометрической формы взрыва (Рис.14). В дальнейшем PIC-метод использовался при оценках параметров взрывов, геометрическая форма которых была получена при анализе реального поля ожога на месте катастрофы (Рис.15). Воздействие ударных волн на поверхность земли и лесной массив оценивалось с помощью теоретических моделей, изложенных в работах [26,40,52].

Выполненное математическое моделирование продемонстрировало, что с высокой вероятностью Тунгусское космическое тело было ядром кометы с типичными соотношениями размеров между его фрагментами. Суммарная энергия Тунгусского падения, которая определяет вывал леса в форме бабочки (Рис.1) находится в хорошем соответствии с величиной $5{,}6\cdot 10^{16}$ Дж, (см., например, [55]). Огромная энергия объясняется столь же огромной массой кометы - в атмосфере Земли разрушилось ледяное тело размером почти с Останкинскую телебашню. Общая масса фрагментов ядра кометы в конце атмосферной траектории составляла 10 миллионов тонн. Эффективная скорость фрагментов кометы перед заключительным разрушением определена как ~2,2 км/с. В процессе моделирования отмечено хорошее соответствие плотности кометного вещества со средним значением ~0,6 г/см^3. Расширение заключительных газовых объемов имело место в основном в горизонтальной плоскости в соответствии с геометрией тел взрывов (Рис.9), на высоте порядка ~4-6 км.

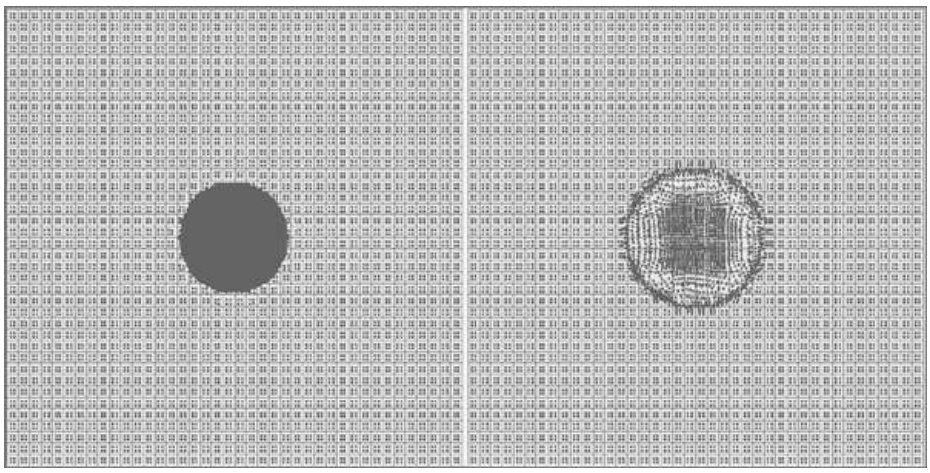


Рис.14. Результат тестового моделирования PIC-методом метеорного взрыва круговой формы с образованием сильной ударной волны

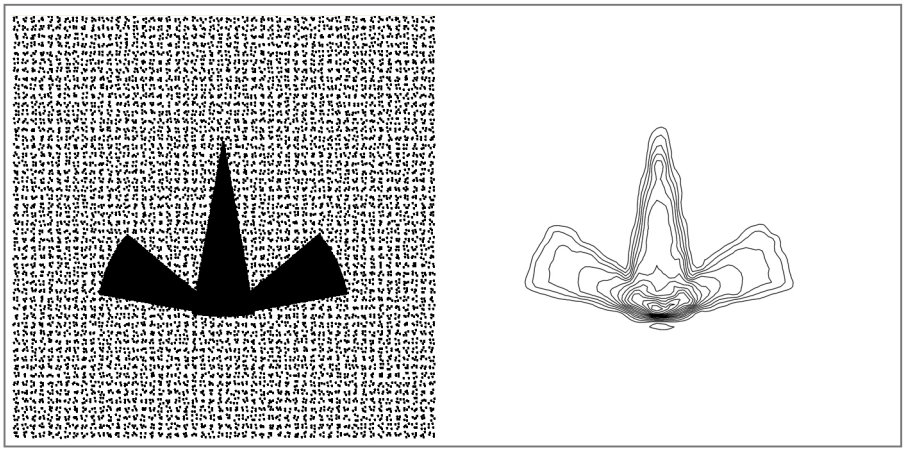


Рис.15. Оценка PIC-методом начального поля давлений центрального взрыва Тунгусского метеорного тела

Начальная форма каждого из газовых объемов содержала значительных размеров каверну. Образование каверн было обусловлено более интенсивным уносом массы фрагментов в области точки торможения потока (stagnation point). Ниже, в Таблице 3, приводятся основные параметры взрыва фрагмента «А».

Таблица 3

Энергия взрыва, Дж	$2{,}4\cdot 10^{16}$
Площадь вспышки, м^2	$5{,}8\cdot 10^{7}$
Толщина тела вспышки, м	90
Начальная температура, К	1700
Начальное давление, Па	$1{,}3\cdot 10^{6}$
Тепловой импульс, Дж/см^2	30

Тепловой импульс взрыва фрагмента «В» определен как 13 Дж/см^2. Тепловой импульс каждой подковообразной структуры ожога «Е», определен как 30 Дж/см^2. В процессе моделирования был учтен эффект снижения коэффициента аэродинамического сопротивления, обусловленный наличием направленной (кумулятивной) струи, вытекающей из каверны навстречу потоку. Автор полагает, что этот эффект способствовал проникновению ядра и фрагментов Тунгусской кометы глубоко в атмосферу [44]. Верхний предел прочности на сжатие для глубинных слоев льда Тунгусской кометы определен на уровне $1{,}3\cdot 10^{6}$ Па. Показано, что разрушение Тунгусского кометного ядра в атмосфере Земли имело существенно трехмерный характер.

В процессе расчетов был отмечен новый эффект, который может реализовываться на больших высотах, близко к начальной точке входа кометного ядра в атмосферу. Это «эффект оползня» или «сползания» наименее прочной пылевой матрицы кометы с более прочного ледяного ядра. Математическое моделирование этого эффекта может выполняться по известной методике расчета оползней [70] и хорошо объясняет светлые ночи после Тунгусского падения [6] запылением верхних слоев атмосферы.

Расчеты возмущения магнитного поля Земли [23] предусматривали несколько различных теоретических моделей, способных объяснить не только Тунгусское событие, но и вообще магнитные эффекты метеорных импактов [61]. Один из мощных механизмов, способных объяснить усиление магнитного поля при взрывах, был предложен академиком А.Д.Сахаровым и соавторами. Он получил название «магнитная кумуляция» [42]. Есть и другие механизмы, способные вызвать геомагнитное возмущение и которые без всякой экзотики хорошо качественно и количественно описывают геомагнитный эффект 30 июня 1908 года. Однако, для выбора между моделями все же потребуется полное трехмерное моделирование Тунгусского падения и окончательный вывод еще предстоит сделать. Полная трехмерная математическая модель должна учитывать не только все аспекты взаимодействия опасного космического тела с нашей планетой, но и отслеживать множество нюансов пребывания этого тела в дальнем космосе.

Особо следует остановиться на поисках обломков Тунгусского метеорита. Распространено мнение, согласно которому за 110 лет со дня события не было найдено ни грамма вещества Тунгусского космического тела. Такое мнение глубоко ошибочно. Находки были, и настолько яркие, что их замалчивание выглядит более чем странно.

Начнем с того, что факт находки имел место даже в самых первых экспедициях Леонида Алексеевича Кулика. И этот факт не просто имел место, а был опубликован Л.А.Куликом в журнале «Доклады Академии наук СССР»!

Статья Л.А.Кулика была представлена в ДАН СССР академиком В.И.Вернадским. Вот что пишет знаменитый исследователь Тунгусского метеорита [28]. «На поверхности борта круглой депрессии в 200 м к W от «Метеоритной заимки» в глинах было обнаружено около 1/2 кг голубоватого полупрозрачного пузыристого стекла, давшего при анализе следы Ni».

Как известно, никель – один из космических маркеров. Как же тогда объяснить абсурдный комментарий, которым впоследствии сопроводил находку Л.А.Кулика участник его экспедиции Е.Л.Кринов?

Процитируем Е.Л.Кринова [27], который описал факт находки совершенно иначе. «Однажды летом, работая на Сусловской воронке, рабочий Карамышев обнаружил вблизи северного борта воронки, на поверхности торфяника кусок оплавленного стекла. Свою находку

он передал Кулику, который определил его как кусок сплавленных горных пород, аналогичный силика-гласу, многочисленные куски которого, как известно, обнаружены вокруг некоторых известных метеоритных кратеров. Он предполагал, что оплавление произошло в момент падения метеорита, образовавшего Сусловскую воронку, в чем он и усмотрел еще одно доказательство метеоритной природы воронки. Впоследствии Кулик отмечал эту находку в своих статьях. Между тем, в действительности найденный кусок стекла несомненно представлял собой оплавленный осколок обыкновенной бутылки. Оплавление его произошло при пожаре, когда в первый же день; по приезде экспедиции загорелась изба Кулика, на чердаке которой лежали пустые бутылки. Впоследствии весь мусор от избы был снесен на торфяник и свален вблизи Сусловской воронки. Туда же попал и осколок стекла, где он и был потом обнаружен рабочим».

Немая сцена по Гоголю. Л.А.Кулик лично собрал для Академии наук СССР большую коллекцию метеоритов, которая является «золотым фондом» метеоритики. Этот человек имел ученую степень кандидата геолого-минералогических наук и одним из соратников академика В.И.Вернадского. Просто нелепо утверждать, что Л.А.Кулик не смог отличить «кусок сплавленных горных пород» от «оплавленного осколка обыкновенной бутылки». И что это за бутылка такая, дающая при анализе следы никеля?!

Мы еще вернемся к находке Л.А.Кулика, а пока опишем еще одну находку, которую сделал на горе Стойкович опытнейший поисковик Джон Федорович Анфиногенов. Д.Ф.Анфиногенов, как и Л.А.Кулик, доказал свою квалификацию находками реальных метеоритов. И автор настоящей статьи в экспедиции 1988 года с радостью принял приглашение Джона Федоровича осмотреть его находку на горе Стойкович. В своей книге «Тунгусские этюды» Д.Ф.Анфиногенов и Л.И.Будаева сообщают о находке следующие данные [1].

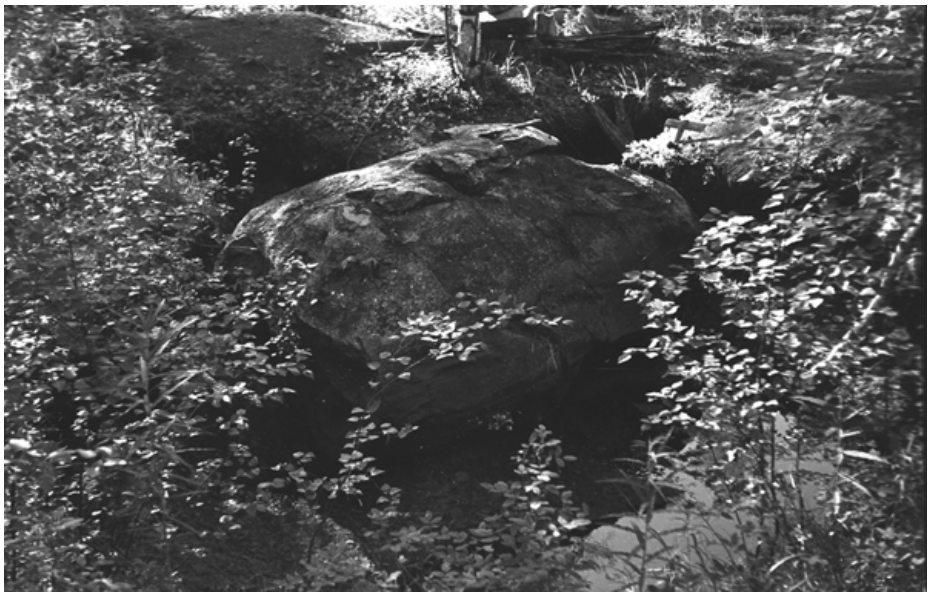


Рис.16 Камень Джона (Фото А.Е.Злобина, 1988 год)

«Обнаруженный на горе Стойкович камень необычного вида и размеров, по первому впечатлению был так называемый «камень-олень», Камень-загадка. Камень находился примерно в 5 м от восточного разреза лесотаксаторов, в 30 м от заболоченной долинки у восточного подножья западного хребтика горы Стойкович… При ближайшем рассмотрении было видно, что камень состоит из сцементированной гальки, песка, в основном холодных тонов (как будто не смытые до конца подпалины)… Надземная часть Камня, имела куполообразную форму приблизительно 50 см высотой в выступающей части и приблизительно 2х1,5 м в плане с вытянутостью вдоль меридиана (с севера на юг). Купол был более пологим на север и на запад и круче на восток и юг. В южной части Камня намечалось наличие вертикальной стенки (как бы слом). Форма Камня - округлая, леденцовая. При попытках взять образец Камня выяснилось, что он очень прочен, равномерно прочен, тверд и

звонок. Специалисты-геологи были удивлены, что на горе, выполненной по ее вершинам и сторонам траппом (изверженными тунгусскими базальтами), в котловине находится светло-цветной валун из сильно окремненной осадочной породы. На сколах Камня геолог Н.Л.Сапронов обнаружил минералы - горный хрусталь, кристаллический кварц, кристаллы анальцима, заполняющие в некоторых местах пространство между гальками…

Общие размеры Камня после раскопок - 2,5х1,7х1,2 м. Вес - более 10 тонн… Камень состоит из явно осадочной породы (высокометаморфизованный песчаник-гравелит-конгломерат с кремнистым цементом) с содержанием SiO_2 - 98,5 % (80-85 % составляют кремнистые породы и минералы, 15-20 % - кремнистый цемент). Отличается высокой прочностью во всех направлениях, стойкостью на раскалывание и особой звонкостью. Составляющие минералы: кварц, редко анальцим, отмечен лешательерит. Химический и минералогический состав, кроме лешательерита, не дает никаких отличий от глубинных земных осадочных пород. Петрографический анализ показал, что остеклованные поверхности представляют собой мелкокристаллическую породу того же состава, что и зерна, к которым они прилегают. Толщина этой корочки до 0,5 мм… Подобной осадочной породы нет в окрестности радиусом в первые сотни километров. Обнаружены следы высокоскоростного движения в приповерхностных слоях местных отложений (в основном - в мерзлотных слоях) - дугообразная погребенная борозда, сколы с Камня, большой обломок от Камня со своей бороздой, обломки с оплавленной поверхностью, расколотые местные гальки с конусами удара. Наблюдаемая картина разрушений в почве говорит о высокоскоростном входе и боковом рикошете основной массы Камня при движении в мерзлом грунте».

Таково сокращенное описание камня, найденного Д.Ф.Анфиногеновым и закономерно получившего название «Камень Джона» [54]. Автор лично побывал у Камня Джона, проверял его на звонкость и сделал несколько фотографий (Рис.16).

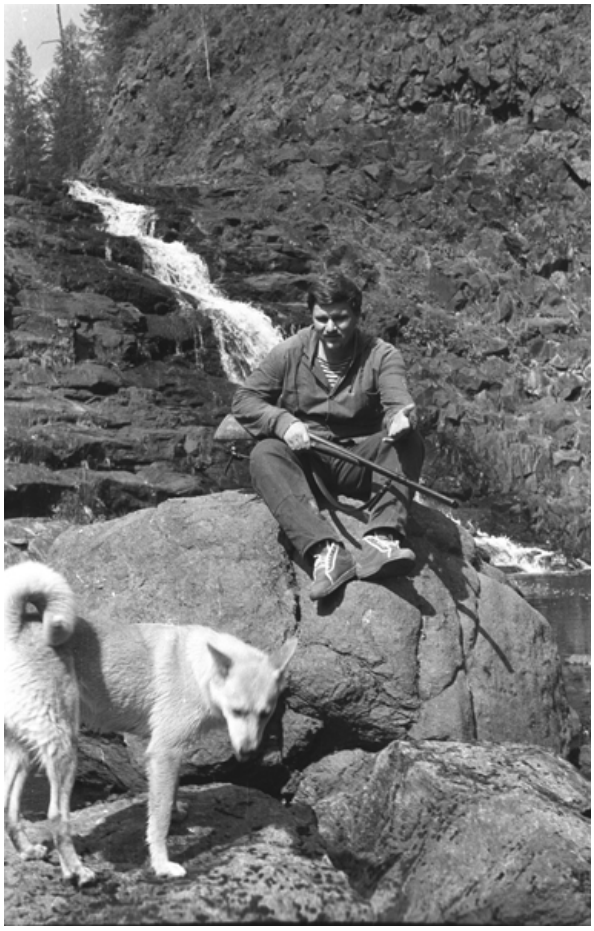


Рис.17. А.Е.Злобин у Чургимского водопада, на пути к таежному лагерю «Пристань» (экспедиция 1988 года)

Пришло время рассказать и о находках, которые сделал на месте Тунгусской катастрофы автор настоящей статьи. Во время экспедиции 1988 года, 24 июля, совершив переход от Заимки Кулика до Пристани (Рис.17), автор вышел к реке Хушмо, возле которой находился с 24 июля по 26 июля. Перед возвращением на Заимку Кулика, 26 июля, автор провел исследование мелководья и берега реки Хушмо на предмет наличия камней, похожих на метеориты. Идея была простая – на мелководье прибрежные камни постоянно омываются проточной водой, они совершенно чистые, отлично видны и потому что-то необычное сразу бросится в глаза. Именно так и произошло. Вместе с сотней других камней, собранных там же, необычные находки были привезены в Москву, и… о них на долгое время пришлось забыть. Наступали лихие 90-е, когда было не до небесных камней, и вся коллекция не разобранной перекочевала в дачный домик. Двухтысячные годы для автора оказались не легче 90-х, и к экономическим проблемам добавились семейные. Таким образом, коллекция камней благополучно пролежала в небольшом полотняном мешочке более 20 лет.

Только в 2012 году, разбирая на даче старый хлам, автор наткнулся на мешочек, и решил, наконец, разобрать коллекцию. Три находки сразу же возникли в памяти и бросились в глаза. Этим камням были даны условные названия - «Зубная коронка» (1), «Кит» (2), «Лодочка» (3). О найденных камнях автор опубликовал сообщения [66,67,68,69]. Была опубликована карта, на которой автор отметил место находки (Рис.18).

По форме в плане все три камня тяготеют к параллелограмму и имеют ржаво-коричневый цвет. Измеренные размеры и вес камней представлены в Таблице 4. Все камни имеют следы, напоминающие следы плавления при взаимодействии с высокотемпературным газовым потоком (регмаглипты, характерные наплывы, вмятины). Особенно хорошо следы плавления видны на камне «Зубная коронка», края которого имеют характерные, загнутые наплывы. Здесь же заметен след пластической деформации от удара о край другого предмета, который предположительно имел аналогичную природу (рой фрагментов).

Таблица 4

	Зубная коронка	Кит	Лодочка
Максимальная Диагональ (мм)	25	29	21
Вес (г)	1.6	10.4	2.3

На описании камня «Зубная коронка» остановимся подробнее, поскольку, по мнению автора, эта находка весьма походит на оплавленный образец, найденный в экспедиции Л.А.Кулика. Действительно, своей формой камень напоминает оплавленную стекловидную породу толщиной 1-1,5 мм (Рис.19 и Рис.20). На выпуклой стороне камня (Рис.19), почти в центре, находится характерное углубление в форме сферической лунки, с тонким ажурным рельефом. Неподготовленный, незнающий человек действительно легко примет такой камень за оплавленный осколок стекла и выбросит находку. Ему в голову не придет, что перед ним самый настоящий метеорит. Автор этих строк 15 лет занимался исследованиями теплообмена при сверхзвуковых скоростях и высоких температурах, имеет большой опыт физического эксперимента, опыт работы с лопатками газовых турбин, где тепловые и прочностные нагрузки аналогичны метеоритным [18]. Именно этот опыт авиационного специалиста позволил безошибочно идентифицировать на камне сферическую лунку и затвердевшие струйки расплава в виде «парного вихря». Такие лунки с вихрями хорошо известны современной науке и подробно исследованы, например, в работах академика А.И.Леонтьева и соавторов [59]. Лунка на выпуклой поверхности тонкого камня возникла в так называемой точке торможения газового потока и точке максимального нагрева. А вихри расплава в лунке образовались вследствие того, что встречный поток раскаленного газа (воздуха) обтекал камень под

некоторым углом. Глядя на то, как загнуты края камня (Рис.19) его движение под углом к встречному потоку не вызывает никаких сомнений. Более аэродинамичную и физичную форму метеорита трудно себе представить. Такая форма, наличие характерной лунки, затвердевших вихрей расплава в точке наибольшего нагрева однозначно подтверждает метеоритную природу камня.

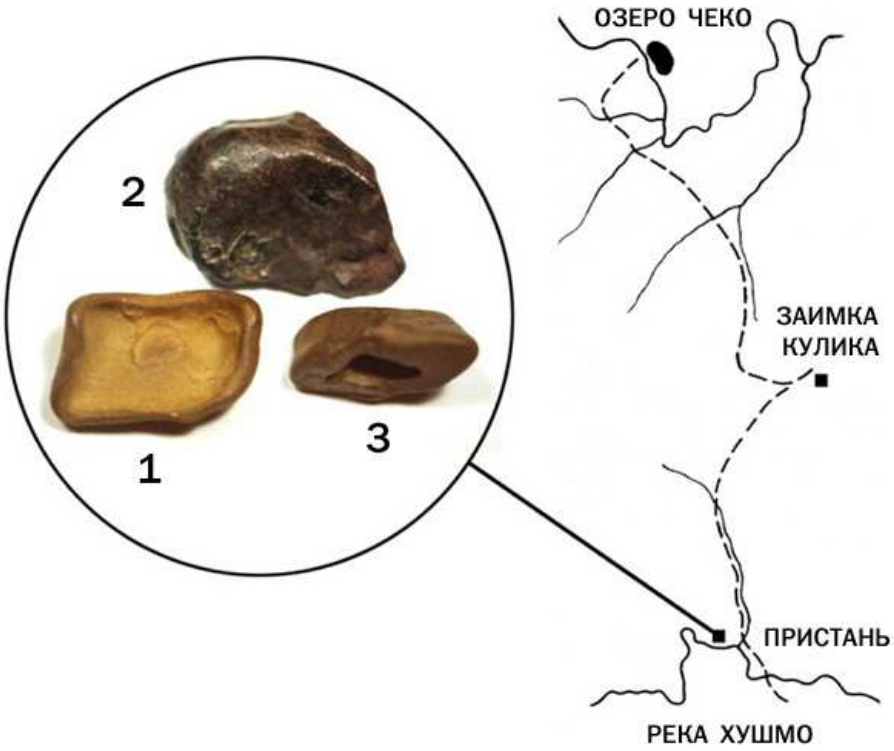


Рис.18. Место находки трех камней в экспедиции 1988 года

Вопрос может вызвать ажурность космической «Зубной коронки». Почему изначально этот фрагмент Тунгусского метеорного тела был тонкой пластинкой, впоследствии расплавленной при прохождении атмосферы? Это яркое свидетельство того, что каменные фрагменты до столкновения с Землей находились под толстым покровом кометных льдов и имели температуру близкую к абсолютному нулю. Именно в этом случае соприкосновение столь холодного каменного тела с раскаленным встречным потоком газа неминуемо вызовет огромные термические напряжения на его поверхности и отделение тонких поверхностных пластинок небольшой толщины. Другими словами, находки расплавленных и застывших фрагментов метеорного тела типа «Зубной коронки» - это еще одно свидетельство кометного происхождения Тунгусского метеорита. Причем сверхнизкая температура кометных льдов подтверждает необычность траектории Тунгусского метеорного тела, установленную И.С.Астаповичем – почти северное направление его движения.

Рис.19 Камень «Зубная коронка». Вид сбоку

Рис.20 Камень «Зубная коронка». Вид с выпуклой стороны

Форма камня «Зубная коронка» (тонкая пластина) идеальна для оценки теплового импульса, вызвавшего оплавление. Автор исследовал процесс нагревания этого камня, чтобы определить условия его пластической деформации. Предполагалось, что камень состоит из вещества подобного кварцу (SiO_2). В процессе математического моделирования было определено, сколько тепла требуется для размягчения и внешнего оплавления образца из вещества типа кварца. Использовалось уравнение теплового баланса для микро-метеоритов [63], то есть для случая, когда толщина метеорита значительно меньше, чем 1 см. Вычисления были выполнены для нескольких случаев начальных и граничных условий с последующим обобщением результатов. В результате расчетов автор определил необходимый тепловой импульс между 280 и 420 Дж/см^2. Это существенно выше чем значения 13-30 Дж/см^2, которые были определены ранее для случаев ожога деревьев и почвы. Именно поэтому автор считает,

что камень «Зубная коронка» подвергся плавлению не на поверхности земли, а непосредственно в объеме Тунгусского болида, в процессе движения в атмосфере на значительной высоте (Рис.21). Кроме того, тепловой импульс на уровне 280-420 Дж/см^2 находится в хорошем соответствии с условиями астробаллистического теплообмена [30].

Автор настоящей статьи только приступил к исследованию вещества трех найденных камней. Так совершенно определенно можно сказать, что все три камня обладают очень слабыми магнитными свойствами. Это было определено экспериментально при помощи чувствительных рычажных весов, длинной хлопковой нити и сильного магнита [68,69]. Автором также выполнена оценка содержания магнитного материала в камне «Кит», которая ориентировочно составила ~0,01%. По ржавому оттенку можно предположить, что вещество камней содержит железо, возможно с примесями. Собственно сам ржавый оттенок говорит о вероятных окислительных процессах и наличии в составе камней окислов железа. Небольшой откол, сделанный у тонкого края камня «Кит» деревянным инструментом, продемонстрировал невысокую прочность вещества. Камень имеет неравномерный цвет по толщине. Так, у поверхности заметны цветовые слои от ржавого до почти черного. Слои ориентированы параллельно поверхности камня. Внутренняя область камня «Кит» имеет темный матовый оттенок и трещиноватое строение с мелкими включениями зерен, имеющих металлический блеск.

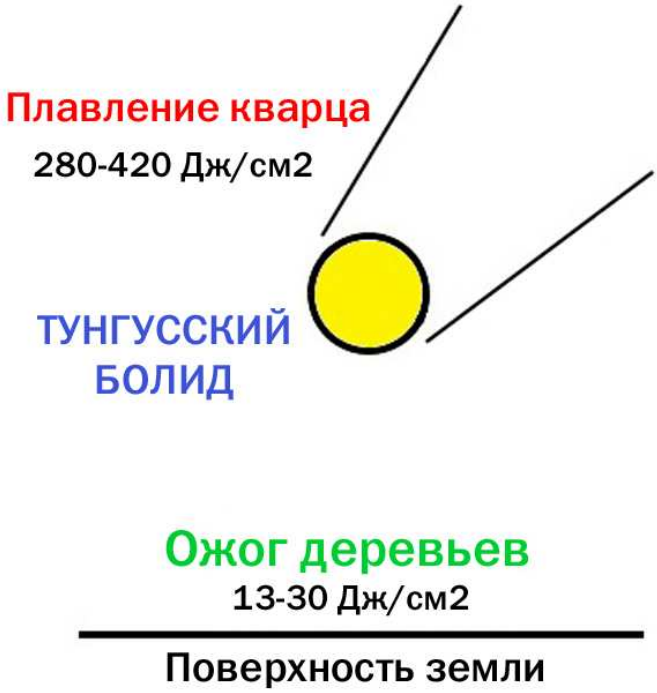


Рис.21. Тепловое влияние Тунгусского болида на высоте и у поверхности земли

Итак, повторимся, находок на месте Тунгусской катастрофы много, ярких находок, и они сделаны не любителями, а людьми, имеющими большой опыт исследовательской работы. Что же заставляет скептиков упорно отрицать обнаружение вещества Тунгусского космического тела? Ответ простой – похожесть вещества всех находок на вещество нашей планеты. Только-то и всего. Порождаемый скептиками парадокс никто не замечает. Вот только как тогда быть с представлениями современной астрофизики, согласно которым наша планета образовалась из протопланетного облака? Остатками исходного протопланетного облака современная астрофизика считает кометное облако Оорта, окружающее Солнечную систему и состоящее в основном из комет. Но в этом случае основную массу вещества нашей планеты должны составлять те самые промежуточные тела, в частности кометы, которые образовались в результате эволюции (сгущения) протопланетного облака. Из этого следует математически строгий вывод: вещество подавляющей части комет должно быть похожим на вещество планеты Земля.

Тот факт, что наука метеоритика больше 100 лет якобы не может найти выпавшие на Землю миллионы тонн вещества Тунгусской кометы, уже выглядит откровенно несерьезно. Автор считает, что пришла пора «поставить науку метеоритику с головы на ноги». Выпавшие на землю каменные фрагменты Тунгусской кометы обязаны быть похожи на земное вещество именно потому, что положения современной астрофизики правильны, и Земля образовалась из тел, подобных Тунгусскому. Более того, космическая катастрофа 1908 года убедительно доказала - формирование нашей планеты из кометного вещества протопланетного облака продолжается. Ничтожно малые килограммы и даже тонны «традиционных метеоритов», выставляемых сегодня в музеях, это не правило, а скромное исключение. Находки традиционных метеоритов потому и редки, что они не играют практически никакой роли в формировании основной массы нашей планеты. А вот миллионы тонн выпавшего вещества Тунгусской кометы – это и есть тот самый «строительный материал», из которого состоит Земля. Причем этот строительный материал межзвездного происхождения – именно тот, который породил на Земле феномен органической жизни. Итак, каменные фрагменты Тунгусской кометы практически неотличимы от земных пород и это ответ на загадку «исчезновения» вещества метеорита 1908 года. Только тогда, когда суммарная «музейная» масса традиционных метеоритов достигнет хотя бы нескольких миллионов тонн (массы Тунгусской кометы), их можно будет рассматривать в качестве космологических аргументов. Изучать же космическое вещество по ничтожному количеству традиционных метеоритов Солнечной системы, пренебрегая миллионами тонн выпавшего межзвездного кометного материала, абсолютно не корректно. Собственно Н.В.Васильев уже упоминал мнение, согласно которому Тунгусский метеорит имел, возможно, необычный для малых тел Солнечной системы состав [5]. Вообще, взгляд на Тунгусскую катастрофу с глобальных позиций свидетельствует о правильности гелиофизических и геофизических наблюдений, сделанных в работах [14,39]. Представляется, что процессы на межзвездных расстояниях, на Солнце и на Земле гораздо сильнее взаимосвязаны, чем это считалось до сих пор.

Тунгусское падение не случайно привлекло внимание такого крупнейшего ученого, как академик Н.В.Васильев, имевшего прямое отношение к науке о жизни. Столкновение кометы с Землей связано с гипотезой панспермии, происхождением жизни на нашей планете. Имеются все предпосылки к тому, что биологическая наука и аспект жизни станут отправной точкой для новой логики и новой физики в современной системе мироздания. Закономерен интерес к Тунгусской катастрофе академика Е.А.Ваганова и его коллег [62], исследовавших механические и термические поражения деревьев в районе падения. Вопросы выживания биологических объектов в условиях космических катастроф в ближайшее время станут одними из важнейших. Необходимо еще раз внимательно оценить нюансы еле заметных вещественных аномалий в районе Тунгусской катастрофы [10,15,24,32,47]. Прежде всего, обращают на себя внимание газ водород в силикатных шариках с места катастрофы [15] и изотопная аномалия по водороду и углероду, обнаруженная при исследовании торфов с места падения [24]. Как было показано автором настоящей статьи [19,21,64,68,69], с точки зрения математики атом водорода функционально связан с числами Фибоначчи [9,31], обладает нарушенной математической симметрией, уникальными метрическими характеристиками, и это свойство, возможно, окажется решающим для понимания логики «интеллектуальных» межатомных взаимодействий. Математические алгоритмы распознавания образов и, как следствие, «узнавание атомами друг друга» могут оказаться недостающей цепочкой в понимании процессов зарождения жизни. О нарушении симметрии, в контексте появления жизни на нашей планете, в 1931 году писал академик В.И.Вернадский [7]. Исследования процессов зарождения и развития жизни в космических масштабах, вопросов космической биологии, представляют огромный научный интерес. Очень важно, что к этой тематике проявили интерес представители известной научной школы, у истоков которой стоял Н.В.Тимофеев-Ресовский [58]. В этом плане не лишним будет напомнить о необходимости сохранения для научных исследований Тунгусского биосферного заповедника.

В конце настоящей статьи автор хотел бы высказать еще ряд соображений. Кометная природа Тунгусского тела предполагалась и раньше [46]. Однако, в случае с Тунгусской кометой не совсем правильно применять теоретические модели, которые хорошо работают для традиционных каменных, железо-каменных или железных метеоритов. Основу вещества Тунгусской кометы составлял кометный лед, и это требует существенной корректировки традиционных математических моделей. Прежде всего, нужно учитывать, что Тунгусская комета пришла из межзвездного пространства и на ее физические свойства большое влияние оказывала сверхнизкая температура ледяного ядра. Уже в 1990-х годах автор выполнил расчеты нестационарного теплового состояния ядра долгопериодической кометы при ее приближении к Солнцу [17,20,22]. Принималось, что комета приближается к нашей звезде примерно в течение 2 тысяч лет. Такие расчеты показывают, что под воздействием солнечного излучения прогревается только поверхностный слой ядра толщиной порядка 10 метров, тогда как основная толща кометного льда вообще не изменяет своей температуры. Таким образом, основная масса ядра кометы, пришедшей издалека (в т.ч. из межзвездного пространства), при входе в атмосферу Земли будет иметь сверхнизкую температуру на уровне всего 3 градусов Кельвина (Рис.22).

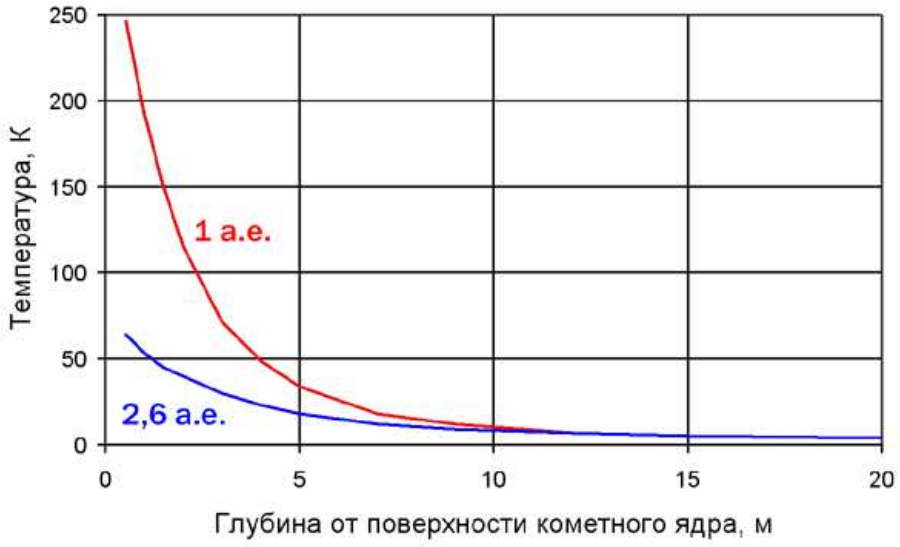


Рис.22. Распределение температуры по глубине ледяного кометного ядра долгопериодической кометы диаметром 1 км на расстояниях от Солнца 1 и 2,6 астрономических единиц

Очевидно, что при столь низкой температуре кометные льды будут характеризоваться крайне высокой хрупкостью. В этом смысле вполне оправдана математическая модель, предусматривающая практически мгновенное разрушение кометного ядра в плотной атмосфере, при достижении предела прочности, и превращение ядра в объем сжатого газа. Вместе с тем автор хотел бы предостеречь от использования прямого гидродинамического моделирования импактных событий, вообще не рассматривающего стадию движения в атмосфере метеороида, как единого твердого тела. Подобное упрощение является недопустимо грубым и, по сути, противоречит общепринятым и проверенным на практике методам математического моделирования спускаемых космических аппаратов. Действительно, нельзя же утверждать, что проектные расчеты спуска с орбиты кораблей типа «Спейс Шаттл» или «Буран» могут выполняться по моделям входа в атмосферу совокупности их разрозненных деталей (отдельно фюзеляж, отдельно крылья, отдельно киль, отдельно двигатель, отдельно шасси, и т.д.). Однако именно в этом суть методики прямого гидродинамического моделирования импактных событий, ошибочно утверждающей, что имеет место близкая аналогия с вхождением в атмосферу компактного единого твердого космического тела.

Попутно следует заметить, что некоторые авторы, использующие прямое гидродинамическое моделирование Тунгусского события, принимают нереально малые

размеры кометного ядра (порядка нескольких десятков метров в диаметре). Причина подобных ошибок аналогична – не учитываются физические характеристики кометного ядра как твердого тела. Достаточно взглянуть на Рис.22, чтобы понять – ледяное кометное ядро диаметром в десятки метров имеет мало шансов долететь до Земли, поскольку, скорее всего, распадется под воздействием солнечного тепла. Это сильный аргумент в пользу того, что ядро Тунгусской кометы имело размеры не менее нескольких сотен метров. К тому же, только для такого, очень крупного, метеороида очевидец из Кежмы Т.Н.Науменко мог указать размер «диаметром гораздо больше луны», разглядеть и даже подробно зарисовать внешний вид небесного тела (Рис.10).

Автор хотел бы отметить убедительные результаты, полученные еще раньше Санкт-Петербургской группой исследователей Тунгусской катастрофы [25,50,51]. Среди этих результатов можно отметить реальные размеры ядра тунгусской кометы (значительно больше 100 метров), разделение ядра в атмосфере на несколько фрагментов, интересный механизм газовоздушного взрыва, реалистичные оценки интенсивности ожога и пожара, обоснованные значения азимута и наклона траектории, правильная оценка параметров орбиты. Недавно о важном выводе Г.А.Никольского, Э.О.Шульца, М.Н.Цинбала, В.Е.Шнитке, Ю.Д.Медведева напомнил в своей книге испанский автор V.Aupi: изначально имея гиперболическую орбиту, Тунгусское тело было захвачено тяготением Земли и на некоторое время стало спутником нашей планеты [53]. Такой ход событий хорошо объясняет целый ряд характеристик тунгусского падения, включая большой комплекс предвестников космической катастрофы [6].

Несколько слов нужно сказать в отношении Челябинского метеорита. Бытует мнение, что Челябинское событие подобно Тунгусскому, и отличается от него только меньшими размерами космического тела. Это мнение ошибочно. Челябинский метеорит принадлежит к малым телам Солнечной системы, тогда как Тунгусская комета пришла с межзвездных расстояний. Столь же велика разница между вещественным составом Челябинского метеорита и Тунгусского кометного ядра. Совершенно различны физические свойства этих космических тел и степень их опасности для цивилизации. Тунгусское событие продемонстрировало намного более опасные последствия кометных ударов по Земле и далеко не факт, что эти последствия проявили себя в 1908 году в полной мере. Падение Челябинского метеорита могло оставить у человечества ложное ощущение безобидности импактных событий (только побило стекла в городе). Автор может свидетельствовать о личных ощущениях и результатах своих исследований на месте Тунгусской катастрофы. Только стоя в центре зоны разрушений диаметром почти 50 километров (Рис.23), можно осознать реальные масштабы кометной опасности.

Рис.23. А.Е.Злобин в центре Тунгусской катастрофы, у командорской избы Л.А.Кулика (экспедиция 1988 года)

Изучение Тунгусской катастрофы с точки зрения проблемы астероидно-кометной опасности [35] представляет большой интерес. Здесь стоит обратить внимание на выявленные выше специфические и опасные эффекты, связанные с разрушением в атмосфере ледяного кометного ядра. Во-первых, при движении в атмосфере в головной части ядра и его фрагментов могут формироваться каверны и направленные газовые джеты, способствующие проникновению глубоко в плотные слои. Во-вторых, имеет место значительно большее боковое рассеяние ледяных фрагментов по сравнению с каменными или железными метеоритами, что увеличивает общую площадь поражения на земле. В-третьих, образуются большие высокотемпературные излучающие площади, параллельные поверхности земли и вызывающие обширные ожоговые поражения на местности. В-четвертых, зафиксированы дополнительные протяженные подковообразные ожоги, вызванные следом болида и имеющие место под его траекторией. Можно назвать еще ряд фатальных проявлений кометного падения, которые выглядят неожиданными, и прогнозировать которые в случае кометной опасности строго необходимо. Значительно пересмотрев свои ранние представления, автор, тем не менее, не забыл о тех дополнительных физических эффектах и рисках, которые могут иметь место при сверхнизких температурах кометного ядра [17,20,22,36]. Важно понять, что время простых математических моделей в проблеме астероидно-кометной опасности безвозвратно ушло, и несовершенство расчетных методик может обойтись человечеству слишком дорого. Вполне возможно такое стечение обстоятельств, когда от научного уровня, адекватности и точности математической модели будет зависеть вопрос выживания всей человеческой цивилизации.

Научный уровень исследований можно оценить на конференциях. Автору запомнились несколько серьезных научных конференций, в которых он принимал участие. Это конференции 1988 и 1990 гг. в Томске, конференция 1988 г. в Красноярске, конференция 1995 г. в Москве, в Президиуме Академии наук [20,22]. На всех этих форумах обсуждался Тунгусский метеорит, присутствовали ведущие специалисты в этой области, присутствовал академик Н.В.Васильев, чувствовался неподдельный интерес к проблеме и высокий научный уровень участников. К сожалению, после ухода из жизни Н.В.Васильева, конференции по Тунгусскому метеориту стали утрачивать свой интеллектуальный потенциал. Они стали организовываться по административно-командному принципу, и к 100-летию Тунгусской катастрофы участие в таких мероприятиях потеряло всякий смысл. В 2007 году автор предпочел представить результаты своих исследований на конференцию по планетарной защите Planetary Defense Conference, проходившую на хорошем уровне в США, в университете Дж.Вашингтона [65]. Хочется надеяться, что публикация автора к 110-летней годовщине Тунгусского события напомнит о лучших годах российской науки и возродит интерес к отечественным научным результатам.

Автор выражает глубокую благодарность академику Н.В.Васильеву без постоянной поддержки и внимания которого это исследование могло не завершиться.

Автор благодарит за консультации, плодотворное общение, обмен мнениями, помощь в экспедиции Н.Г.Алексееву, Д.Ф.Анфиногенова, Я.Д.Анфиногенову, Б.Ф.Бидюкова, А.П.Бояркину, Л.И.Будаеву, В.А.Воробьева, С.П.Голенецкого, В.Д.Гольдина, А.Горбатенко, В.П.Горбатенко, Ю.А.Гришина, Д.В.Демина, А.Н.Дмитриева, Е.В.Дмитриева, Ю.М.Емельянова, В.К.Журавлева, А.В.Золотова, А.П.Казанцева, Ю.Л.Кандыбу, Ю.В.Клычникова, Е.М.Колесникова, Н.В.Колесникову, Т.И.Коляду, О.Н.Коляду, В.С.Комиссарова, М.В.Коровкина, Г.Г.Кочемасова, В.М.Кувшинникова, Н.А.Лебедеву, В.В.Лютова, В.И.Лютову, Ю.Д.Медведева, А.Н.Михнова, Е.Я.Мульдиярова, А.П.Невского, Г.А.Никольского, А.Ю.Ольховатова, Г.Ф.Плеханова, И.В.Реут, Б.У.Родионова, Г.А.Сальникову, З.К.Силагадзе, А.Н.Толпеко, В.Г.Фаста, Н.П.Фаст, Н.И.Федорова, О.П.Федорову, А.Ф.Цандер, В.М.Черникова, Л.Ф.Шикалова, Э.О.Шульца, а также всех, кто скрупулезно собирал фактический материал о Тунгусской катастрофе и проявлял к ней интерес.

Автор благодарен своему научному руководителю в Центральном институте авиационного моторостроения (ЦИАМ) д.т.н., профессору К.М.Попову. Автору повезло слушать лекции по теории теплообмена, которые читал в МГТУ академик А.И.Леонтьев. Опыт

научной работы, приобретенный за время учебы в МГТУ и 15 лет работы в ЦИАМ, оказался бесценным. Столь же бесценны знания, полученные автором на факультете «Вычислительной математики и кибернетики» МГУ им.Ломоносова. В связи с этим хочется поблагодарить за эти знания академика Г.Г.Черного, профессоров Ф.С.Зайцева, Е.В.Захарова, В.М.Пасконова, Г.С.Рослякова.

Отдельную благодарность хочется выразить семье выдающегося астрофизика, академика В.А.Амбарцумяна. Благодаря этой семье автор в трудные 1990-е годы получил хорошо оплачиваемую работу в Аналитическом центре крупной фармацевтической компании и дополнительный опыт аналитических исследований.

Библиографический список

1. Анфиногенов Д.Ф, Будаева Л.И. Тунгусские этюды. Опыт комплексной разработки научного подхода к решению проблемы Тунгусского метеорита. Томск: Изд-во ТРОЦа. 1998.
2. Астапович И.С. Большой Тунгусский метеорит. История исследования // Природа. 1951. №2. С.23-32.
3. Астапович И.С. Большой Тунгусский метеорит. Результаты исследований // Природа. 1951. №3. С.13-23.
4. Астапович И.С. К вопросу о траектории и орбите Тунгусской кометы / Физика комет и метеоров. Киев. 1965.
5. Васильев Н.В. Парадоксы проблемы Тунгусского метеорита // Известия ВУЗов. Физика. 1992. №3. С.111-117.
6. Васильев Н.В. Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908 года. М.: Русская панорама. 2004.
7. Вернадский В.И. Об условиях появления жизни на земле // Изв. АН СССР. Сер. 7. ОМЕН. 1931. № 5. С.633-653.
8. Воробьев В.А., Ильин А.Г., Шкута Б.Л. Изучение термических поражений веток лиственниц, переживших Тунгусскую катастрофу / Проблема Тунгусского метеорита. Томск: Изд-во Томск. ун-та. 1967. С.110-117.
9. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи. М.: Наука. 1969.
10. Голенецкий С.П., Степанок В.В., Колесников Е.М. Признаки космохимической аномалии в районе Тунгусской катастрофы 1908 г // Геохимия. 1977. №11. С.1635-1645.
11. Григорян С.С. К вопросу о природе Тунгусского метеорита // ДАН СССР. 1976. Т.231. №1. С.57-60.
12. Григорян С.С. О движении и разрушении метеоритов в атмосферах планет // Космические исследования. 1979. Т.17. №6. С.875-893.
13. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1992.
14. Дмитриев А.Н., Журавлев В.К. Тунгусский феномен 1908 года – вид солнечно-земных взаимосвязей. Новосибирск: Изд. ИгиГ СО АН СССР. 1984.
15. Долгов Ю.А. К итогам работ комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР / Взаимодействие метеоритного вещества с Землей. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1980. С.3-21.
16. Зенкин Г.М., Ильин А.Г. О лучевом ожоге деревьев в районе взрыва Тунгусского метеорита падения // Метеоритика. АН СССР. Вып.XXIV. 1964. С.129-140.
17. Злобин А.Е. Загадка Тунгусского метеорита на пороге XXI века. М.: ЦИАМ. 1996.
18. Злобин А.Е. Исследование локального теплообмена на внешней поверхности лопаток высокоперепадной турбины // Журнал «Наукоград». Протвино. 2018. Июнь. №2 (16). С.60-63. https://docs.wixstatic.com/ugd/f410cf_1a3cc68ae7c04e4ba897d277908c4516.pdf
19. Злобин А.Е. Нарушение симметрии в математической метрике атома водорода как иллюстрация идей В.И.Вернадского о происхождении жизни и биосферы // Acta Naturae. Спецвыпуск. №1. 2014. С.26,48.

20. Злобин А.Е. О взаимодействии метеорного тела-сверхпроводника с атмосферой и магнитным полем Земли (новая гипотеза о физической природе Тунгусского явления) / Тезисы докладов междисциплинарной научно-технической школы-семинара «Непериодические быстропротекающие явления в окружающей среде». Часть 3. Томск. 1988. С.214-215.
21. Злобин А.Е. О математических закономерностях атома водорода присущих живому объекту // Философские проблемы биологии и медицины. Вып.9. Стандартизация и персонализация. Сборник статей. М.: Навигатор. 2015. С.192-194.
22. Злобин А.Е. Сверхнизкая температура кометного ядра как возможная причина Тунгусского взрыва / Тезисы докладов международной конференции «Экологические последствия для биосферы Земли падения космических тел типа Тунгусского метеорита». Московская сессия. Заседание 5. Президиум Российской Академии наук (18-19 июля). Москва. 1995.
23. Иванов К.Г. Геомагнитный эффект Тунгусского падения // Метеоритика. АН СССР. Вып.XXIV. 1964. С.141-151.
24. Колесников Е.М., Бёттгер Т., Колесникова Н.В. Изотопный состав углерода и водорода в торфе с места взрыва Тунгусского космического тела 1908 г. // ДАН. 1995. Т.343. №5. С.669-672.
25. Кондратьев К.Я., Никольский Г.А., Шульц Э.О. Тунгусское космическое тело – ядро кометы // Актуальные вопросы метеоритики в Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1988. С.114-142.
26. Коробейников В.П., Мельникова Н.С., Рязанов Е.В. Теория точечного взрыва. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры. 1961.
27. Кринов Е.Л. Тунгусский метеорит // М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1949.
28. Кулик Л.А. Данные по Тунгусскому метеориту к 1939 году // Доклады АН СССР. 1939. Т. XXII. №8. С.520-524.
29. Курбатский Н.П. О возникновении лесного пожара в районе падения Тунгусского метеорита / Проблемы метеоритики. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1975. С.69-71.
30. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. 4-е издание. Новосибирск: Наука. Сиб. отд. 1970.
31. Левитов Л.С. Числа Фибоначчи в ботанике и физике: филлотаксис / Письма в ЖЭТФ. Том 54. Вып. 9. С.542-545.
32. Лонго Дж. Живые свидетели Тунгусской катастрофы // Природа. 1996. №1. С.40-47.
33. Львов Ю.А., Васильев Н.В., Ваулин П.П., Грязнова С.Н., Менявцева Т.А. Зола в слое торфа 1908 года / Вопросы метеоритики. Проблема Тунгусского метеорита (сборник статей). Издательство Томского университета. 1976. С.94-98.
34. Львов Ю.А., Васильев Н.В. Лучистый ожог деревьев в районе падения Тунгусского метеорита / Вопросы метеоритики. Проблема Тунгусского метеорита (сборник статей). Издательство Томского университета. 1976. С.53-57.
35. Медведев Ю.Д., Свешников М.Л., Сокольский А.Г., Тимошкова Е.И., Чернетенко Ю.А., Черных Н.С., Шор В.А. Астероидно-кометная опасность / Под ред. А.Г.Сокольского. С.-Петербург, Институт теоретической астрономии РАН. 1996.
36. Михайлов Ю.Г., Никулин Е.И., Рейнов Н.М., Смирнов А.П. О сверхпроводимости пленок железа // Журнал технической физики. Т.29. №7. 1959. С.931-932.
37. Науменко Т.Н. Наблюдение полета Тунгусского метеорита // МЕТ. 1941. Вып. 2. С.119-120.
38. Некрасов В.И., Емельянов Ю.М. Некоторые итоги и задачи изучения роста леса в районе падения Тунгусского метеорита // Проблема тунгусского метеорита. Томск: Изд-во Томск. Ун-та. 1967. Вып.2. С.127-133.
39. Ольховатов А.Ю. Тунгусский феномен 1908 года. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2008.
40. Орленко Л.П. под ред. Физика взрыва. В 2-х томах. М.: Физматлит. 2002.
41. Петров Г.И., Стулов В.П. Движение больших тел в атмосферах планет // Космические исследования. 1975. Т.13. №4. С.587-594.
42. Сахаров А.Д., Людаев Р.З., Смирнов Е.Н., Плющев Ю.И., Павловский А.И., Чернышев В.К., Феоктистова Е.А., Жаринов Е.И., Зысин Ю.А. Магнитная кумуляция. ДАН СССР. 1965. Т.165. №1. С.65-68.
43. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир. 1979.

44. Седов Л.И. Механика сплошной среды. В 2-х томах. М.: Наука. 1984.
45. Фаст В.Г., Баранник А.П., Разин С.А. О поле направлений повала деревьев в районе падения Тунгусского метеорита / Вопросы метеоритики. Проблема Тунгусского метеорита (сборник статей). Издательство Томского университета. 1976. С.39-52.
46. Фесенков В.Г. О кометной природе Тунгусского метеорита // Астрон. журн. 1961. Т.38. №4. С.577-592.
47. Флоренский К.П. Предварительные результаты Тунгусской метеоритной комплексной экспедиции 1961 г. // Метеоритика. АН СССР. Вып.XXIII. 1963. С.3-29.
48. Харлоу Ф.Х. Численный метод частиц в ячейках для задач гидродинамики / Вычислительные методы в гидродинамике. М.: Мир. 1967. С.316-342.
49. Хекл М., Мюллер Х.А. под ред. Справочник по технической акустике. Л.: Судостроение. 1980.
50. Цынбал М.Н., Шнитке В.Е. Газовоздушная модель взрыва Тунгусской кометы / Космическое вещество и Земля. Новосибирск: Изд. Наука. Сибирское отделение. 1986. С.98-116.
51. Цынбал М.Н., Шнитке В.Е. Об ожоге и пожаре в районе падения Тунгусского метеорита / Актуальные вопросы метеоритики в Сибири. Сборник научных трудов. Новосибирск: Изд. Наука. Сибирское отделение. 1988. С.41-72.
52. Черный Г.Г. Течения газа с большой сверхзвуковой скоростью. М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры. 1959.
53. Aupi V. Los enigmas del cosmos. Ariel. 2018.
54. Anfinogenov J., Budaeva L., Kuznetsov D., Anfinogenova Y. Tunguska cosmic body of 1908: is it from planet Mars? arXiv:1401.6391 [astro-ph.EP], 2014. https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1401/1401.6391.pdf
55. Ben-Menahem A. 1975, 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, 1-35.
56. Chyba C.F., Thomas P.J., Zahnle K.J. The 1908 Tunguska explosion: Atmospheric disruption of a stony asteroid // Nature. 1993. Vol.361. №6407. P.40-44.
57. Hills J.G., Goda M.P. The fragmentation of small asteroids in the atmosphere // Astron. J. 1993. V.105. №3. P.1114-1144.
58. Khachatryan G.E., Simonyan N.V., Mkrtchyan N.I., Arakelyan V.B., Tatikyan S.SH., Tsakanov V.M., Antonyan P.M., Karamyan S.K., Harutyunyan V.V. The Modeling of Certain Problems of Space Biology in Earth Conditions // Biolog. Journal of Armenia. 2016. 2 (68). p. 21-29. http://biology.asj-oa.am/11275/1/21.pdf
59. Leontiev, A.I., Vinogradov, Yu.A., Bednov, S.M., Golikov, A.N., Yermolaev, I.K., Dilevskaya, E.V., Strongin, M.M. 2002, Effect of vortex flows at surface with hollow-type relief on heat transfer coefficients and equilibrium temperature in supersonic flow experimental. Experimental Thermal and Fluid Science, v. 26, No.5, 487-497.
60. Melosh, H.J. 1989, Impact Cratering. A Geologic Process. Lunar and Planetary Laboratory, University of Arizona. Oxford University Press. New York. Clarendon Press. Oxford.
61. Teller E. Magnetic Effects of Meteor Impacts. Proceedings of the Planetary Defense Workshop. Lawrence Livermore National Laboratory. Livermore, California. May 22–26, 1995.
62. Vaganov E.A., Hughes M.K., Silkin P.P., Nesvetailo V.D. The Tunguska Event in 1908: Evidence from Tree-Ring Anatomy. Astrobiology. 2004. v. 4. No.3. P. 391-399. http://forest.akadem.ru/PDF/060505/vaganov_en_1.pdf
63. Whipple, F.L. 1950, The theory of micro-meteorites. Proc. Nat. Acad. Sci. Amer., v. 36, No.12, 687-695; Ibid, 1951, v. 37, No.1, 19-30.
64. Zlobin, A.E. 2010, Atom of hydrogen as a metric base in organic world. Abstract of 2-nd International Congress-Partnering & Exhibition on Biotechnology and Bioenergy (EurasiaBio-2010). April 13-15, WTC, Moscow, 78-79, 410-411.
65. Zlobin A.E. Quasi Three-dimensional Modeling of Tunguska Comet Impact (1908). Paper of 2007 Planetary Defense Conference held on March 5-8, 2007 at the Cloyd Heck Marvin Center, George Washington University, Washington, D.C.

http://web.archive.org/web/20080407110721/http://www.aero.org/conferences/planetarydefense/2007papers/P4-1--Zlobin_Paper.pdf
66. Zlobin A.E. Discovery of probably Tunguska meteorites at the bottom of Khushmo River's shoal. arXiv:1304.8070 [physics.gen-ph], 2013.
67. Zlobin A.E. Discovery of probably Tunguska meteorites at the bottom of Khushmo River's shoal // Modern scientific researches and innovations. – December 2013. - №12 [Electronic journal]. URL: http://web.snauka.ru/en/issues/2013/12/30017
68. Zlobin A.E. Tunguska similar impacts and origin of life. arXiv:1402.1408 [physics.gen-ph], 2013.
69. Zlobin A.E. Tunguska similar impacts and origin of life // Modern scientific researches and innovations. – December 2013. - №12 [Electronic journal]. URL: http://web.snauka.ru/en/issues/2013/12/30018
70. Zlobin A.E. Landslide as initial mechanism of comet nucleus destruction during entrance into dense atmosphere of planet // Modern scientific researches and innovations. 2015. №12 [Electronic journal]. URL: http://web.snauka.ru/en/issues/2015/12/61579
71. Zlobin, A.E. 1996, Experimental and mathematical simulation of a burn of branches of trees survived Tunguska catastrophe [in Russian]. Tunguska Bull. No.3, 19-22.
72. Zlobin, A.E. 1997, Evaluation of a thermal impulse of Tunguska explosion on a burn of branches of trees and TL-annealing quartz schlich [in Russian]. Tunguska Bull. No.5, 20-26.