

О системном подходе к решению комплекса задач по проблеме Тунгусского феномена 30 июня 1908 г.

Д. Ф. Анфиногенов
ООО «ТРОЦ», г. Томск

Я. Д. Анфиногенова
Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск

Л. И. Будаева
Томский государственный университет, г. Томск

Комплекс задач по проблеме Тунгусского метеорита (Тунгусского феномена) 1908 г. априори является полидисциплинарным комплексом и требует особого подхода как к внутридисциплинарной проблеморазрешающей деятельности, так и к организации междисциплинарной проблеморазрешающей деятельности.

Одним из универсальных подходов в этом случае является так называемый системный подход, позволяющий удерживаться научно-практическому сообществу от того, что называется «впасть в произвол», в частности, в крайности, в упрощенчество, в амбиции и т.п. Рассмотрим Тунгусский феномен 1908 г. в системе болидной феноменологии ибо этот феномен имеет все признаки гигантского по меркам писаной человеческой истории болида. Уточним общее определение понятия «болид» в противовес широко распространенным выражениям «болид летел» и тому подобным. Болид как феномен – это сложный комплекс физико-химических, геофизических и геотектонических явлений, сопровождающих полет и разрушение тел метеороидов и продуктов их разрушения в атмосфере, происходящих с космическими (выше 11 км/с) скоростями. Прежде всего, происходит образование в атмосфере объема паро-газо-плазменного светящегося облака смеси воздуха с продуктами испарения метеороида и его обломков. Яркость и длительность свечения зависит, в первую очередь, от энергии, потерянной метеороидом и продуктами его разрушения на том или ином участке траектории и на соответствующей ему высоте. Видимость пролета огненного объекта (шара, капли, комка, бревна) объясняется передачей эстафеты свечения от вышеостывающего объема болида нижеобразующемуся по мере продвижения метеороида по траектории [Бронштэн, 1981; Мэлош, 1994]. Образование вдоль траектории сверхнагретых паро-газо-плазменных областей приводит к генерации мощных электромагнитных импульсов и токов, а в плотных слоях атмосферы и тепловзрывной ударной воздушной волны, распространяющейся в стороны от траектории и порождающей в свою очередь разнообразные звуковые явления. Эти явления воспринимаются наблюдателями и регистрируются приборами. Такое

краткое представление феномена «болид» необходимо для рассмотрения Тунгусского феномена 1908 г. в системе болидной феноменологии.

Популяции болидов как атмосферных феноменов в последние десятилетия представлены в разнообразных каталогах показаний болидов, составленных как на основании показаний очевидцев-наблюдателей, так и на основании регистрации их приборами сетей болидных станций (Европейской, Прерийной и Канадской), главным образом – фоторегистрации. Рассмотрим только ту часть болидных популяций, которую могут воспринимать как болидные феномены и приборы и очевидцы. Определяющим признаком отнесения к такой популяции является яркость болида, наблюдаемого в совершенно ясную безлунную погоду с расстояния в 100 км как яркость полной Луны в такую погоду или ярче. Согласно расчетам российских специалистов, максимальная плотность региональных популяций таких болидов составляет около 20 болидов в год над территорией в 1 миллион квадратных километров [Зоткин, 1978], что согласуется с материалами Прерийной болидной сети [Мак-Кроски и др., 1978]. Реально замечаемость и отмечаемость таких болидов наблюдателями по разным причинам в несколько раз меньше [Федоров, 1970].

Плотность замечаемости и отмечаемости особо ярких, потенциально метеоритообразующих болидов согласуется с данными по разным источникам – фиксацией одного такого болида раз в два года над 1 млн км² по наблюдениям в плотнонаселенной местности. Это необходимо учитывать всем осуществляющим сбор и обработку показаний очевидцев болидов многолетней давности. В случае с Тунгусским болидом 1908 г. этот принцип не всегда соблюдается, что приводит к избыточному зашумлению данных и «сдвигам» в итоговых результатах обработки.

Инструментальные данные Прерийной болидной сети показывают, что болиды с яркостью полной Луны (см. выше) образуются метеороидами массой от 30 кг до 300 кг при различных скоростях входа в атмосферу и различных углах наклона траектории к поверхности Земли. Феноменологически такой среднестатистический болид имеет массу около 100 кг и скорость входа в атмосферу около 21 км/с [Мак-Кроски, 1976]. Оценка распределения по массе внутри популяции космических тел, атакующих Землю, по размерным характеристикам ударников популяции ударных метеоритных кратеров на ровных поверхностях безатмосферной Луны [Мелощ, 1994] показывает, что на одно космическое тело массой 200 тыс. тонн (калибр ТКТ-1908) приходится 1000 «среднестатистических» тел массой 100 тонн и 1 миллион тел с массой 100 кг.

Наблюдательная и инструментальная регистрационная статистика находится в зачаточном состоянии и оперирует несколькими поправочными коэффициентами, требующими дополнительной проверки, но феноме-

нологическую оценку по болидам от метеороидов калибром в 100 кг и крупнее можно уже сделать. 1 миллион таких болидов над обитаемой сушей земного шара (площадь ок. 100 млн км²) наберется примерно за 500 лет (верхняя оценка). Именно за такое время над сушей образуется болид от метеороида с массой калибра ТКТ-1908. В целом над поверхностью земного шара за это время проявится около 5 «тунгусских» болидов – в среднем один за 100 лет. Одним из таких феноменов над Россией был в XIII веке гигантский летний болид (8 июля по н.ст.) близ Великого Устюга [Кринов, 1948]. В XX веке – так называемый Бразильский двойник Тунгусского феномена в виде падения трех солнцеподобных шаров ясным утром 13 августа 1930 г. [Бронштэн, 2000. С. 253–260]. В обоих случаях метеориты не найдены. В случае с Великоустюжским феноменом камни, якобы выпавшие из гигантской огненной тучи и заложенные потом в ограду одной из церквей Великого Устюга, позднее не были признаны небесными. А в случае с бразильским феноменом в труднодоступных джунглях среднего течения Амазонки выявлены с воздуха три круглые заболоченные депрессии, в том числе одна диаметром около 1 км, окруженная кольцеобразным валом. Ни в том, ни в другом случае современные исследования на «подозрительных» территориях не проводились.

Помимо соразмерных двойников Тунгусского феномена 1908 г. определенный интерес представляют болиды мини-двойники. К ним можно отнести яркий вечерний Чулымский болид 26 февраля 1984 г. [Анфиногенов, 1985] с эквивалентной энергией в одну «хиросиму», со всеми атрибутами болидного феномена («летающий», электрофонный, детонирующий, наличие электромагнитного импульса, наличие микросейсма, ярких световых и звуковых явлений, «взрыв» на высоте 10–15 км, отсутствие заметных повреждений поверхности и найденного вещества). Его расчетная масса входа в атмосферу около 100 тонн. Но наиболее близким к Тунгусскому феноменом мини-двойником можно считать полуденный болид 25 июня 1890 г. в центральных штатах США (штат Канзас). Падение солнцеподобного шара при высоко стоящем Солнце («как кусок, оторвавшийся от Солнца» – было такое показание у очевидцев Тунгусского феномена 1908 г.), выделившаяся в атмосфере энергия оценочно также около 1 «хиросимы», а еще потерянная в атмосфере масса оценочно около 100 тонн и выпадение метеорита Фармингтон (Farmington) в виде двух кусков массой всего в несколько килограммов [Андерс, 1976]. Замечателен этот метеорит еще и тем, что будучи обыкновенным по составу, он, по мнению метеорологов, имеет ничтожный радиационный возраст. Всего-навсего 25 тыс. лет назад он вышел из столкновения двух небесных тел, где-то в поясе астероидов. По масштабам космического времени это ничтожный срок. Такое столкновение возможно и определило популяцию космических тел, порождающую в земной атмосфере дневной метеорный поток В-таурид с максимумом около 29 июня каждого года (или сходный с ним поток), к которому принадлежали,

возможно, и метеороид Тунгусского феномена [Зоткин, 1969], и метеороид Канзасского болида 1890 г.

Разработанная отечественными астрономами методика телескопического мониторинга метеорных потоков за пределами атмосферы позволила установить наличие в их популяциях потенциальных метеороидов объектов метрового и декаметрового размеров, к которым относятся и метеороиды рассмотренных выше болидных феноменов [Смирнов и др., 1996]. Тунгусское космическое тело было вовсе не единственным среди странников Солнечной системы, пересекающих орбиту Земли и готовых к феноменальной встрече с нашей планетой.

Масс-энергетическая разрядка метеороидов и болидные феномены

Практика обсуждения болидной физики Тунгусского феномена 1908 г., богатая на предположения, версии, гипотезы, допущения, модели, показывает неучет, а часто и непоследовательность при учете, недооценки неспециалистами, и даже специалистами по болидной физике, ее основных положений, закономерностей, данных наблюдений и приборных регистраций, физико-математических расчетов и интерпретаций. Концентрация кинетической энергии, заключенной в единице массы вещества космического тела, влетающего в атмосферу, часто недооценивается. Большинство метеороидов, порождающих болиды, входит в атмосферу на скоростях 11–35 км/с. Их энергетический потенциал в случае перехода в паро-газо-плазменное состояние в десятки раз выше тротилового. Этот потенциал нарастает пропорционально квадрату скорости и на верхнем диапазоне указанных скоростей в 1 грамме метеороида сконцентрирован энергетический эквивалент 100 г тротила. На верхней границе диапазона скоростей он примерно в 10 раз выше, чем на нижней. На высвобождение-реализацию этого потенциала влияет всепроникающий скоростной напор, который пропорционален квадрату скорости метеороида и, что не менее существенно, плотности воздуха во встречном воздушном потоке. Плотность воздуха возрастает примерно вдвое при снижении метеороида на 5 км по высоте.

В диапазоне высот образования болидов (с высоты 100 км до высоты 50 км) плотность воздуха возрастает примерно в 1000 раз. Во столько же раз она возрастает с высоты 50 км до поверхности над уровнем моря.

Соответственно возрастает и встречная нагрузка на метеороид, сжимая его с силой, возрастающей в десятки и сотни тысяч раз по мере снижения метеороида. На определенных скоростях превышает предел прочности вещества метеороида на сжатие и он рассыпается, как говорится, в пух и

прах. Например, известно, что предел прочности на сжатие кубика чистого льда при скорости около 22 км/с превышает уже на высоте около 50 км.

Для случая реальных крупных метеороидов (неоднородных по составу и прочности блоков, составляющих частей и соединений) встречный динамический напор приводит, как правило, к растрескиванию и дроблению метеороида с образованием роя метеороидов-деток, каждый из которых имеет уже свою болидную историю, вносит свой вклад в дальнейшее формирование большого болида в целом. Иногда комбинация скоростей, масс и прочности метеороида и его частей таковы, что какая-то их часть в слабоизмененном виде долетает до поверхности земли. При этом следует учитывать, что кроме скоростного динамического напора на метеороид действуют еще тепловая и световая, так называемая лучистая разрушающая составляющая.

При этом ее вклад в интенсивность разрушения метеороида зависит при прочих равных условиях от скорости набегающего воздушного потока, т. е. от скорости ударного столкновения вещества метеороида с молекулами воздуха. При скоростях выше 20–22 км/с интенсивность обжигающего и прожигающего воздействия «возвратного» лучистого теплопереноса на метеороид в десятки раз выше, чем при скоростях 10–12 км/с при прочих равных характеристиках метеороида. Интенсивность лучистого нагрева, точнее, перегрева метеороида, возрастает существенно при вещественном составе и строении метеороида, чувствительном к тепловому, световому и электродинамическому воздействию, например, при наличии в его составе прозрачных и полупрозрачных зерен легкоплавких веществ разного рода, внутренних световодов, светопоглотителей и пьезоэлементов.

Феноменология болидов, особенно стереофоторегистрационная, даже при ограниченном с точки зрения статистики наборе феноменов показывает, что при одинаковой энергетике метеороидов, но разных комбинациях их масс, скоростей и прочностных характеристик составных частей, после масс-энергетической разрядки метеороида в болид остается только малая доля слабоизмененного вещества метеороида, в лучшем случае десятая часть, а чаще – только сотая, тысячная и десятитысячная доли. Во многих случаях метеороид уходит в полный расход – «на нет». И это подтверждает и уточняет теоретические разработки и экспериментальные модели. По экстраполяционным оценкам в регулярном процессе классического болидного феномена на масс-энергетическую разрядку в глубокие плотные слои атмосферы с результатом «на нет» или «на мизер» к 5-километровой высоте могут уходить цельные метеороиды с массой килотонного диапазона.

Болидные феномены типа и масштаба Тунгусского 1908 г. могут образовываться роем или близкими роями метеороидов. Например, блочный крупногабаритный трещиноватый (битый в поясе астероидов) родительский

метеороид распадается при входе в верхние слои атмосферы на разнопрочностные обломки, включая вполне крепкие на механическую нагрузку, но достаточно чувствительные к лучистому теплопереносу. В качестве такого миниастероида мог быть и обломок Фобоса, спутника планеты Марс, оторвавшийся от него при образовании 7-километрового ударного кратера в одном из торцов Фобоса. Возможны и другие варианты.

Как правило, одиночные метеороиды или их тесные рои, разрядившиеся не долетев до поверхности земли, согласно основам физики ударных волн образуют веретенообразную по форме ударную воздушную волну, которую неспециалисты часто принимают за чисто баллистическую. При этом ударная воздушная волна на кончике веретена по направлению полета существенно слабее волны, отходящей от осевой линии полета и масс-энергетической разрядки метеороида, особенно – исходящей от области максимума энерговыделения. В случае взаимодействия ударных волн от близколетающих отдельных метеороидов или их роев форма комбинированной воздушной волны может на какое-то время в определенной степени деформироваться, особенно в своей концевой части в зависимости от пространственного расположения ее составляющих. На удалении от оси болида она примет веретеноподобную или копьевидную форму ударной моноволны.

Ударная волна Тунгусского болида 1908 г.

Общеизвестно, безуспешные попытки отыскать в районе Тунгусской катастрофы слабоизмененное вещество (куски) Тунгусского космического тела (ТКТ) подтолкнули ряд (а затем и большинство) исследователей проблемы к идее точечного воздушного взрыва ТКТ. Это означало представление концевой части ударной воздушной волны в виде сферы, в лучшем случае – полусферы, ориентированной вниз-вперед по направлению движения ТКТ. Эта идея существенным образом повлияла на методику сбора информации о вывале леса. Появилось понятие «эпицентр Тунгусского взрыва» как проекция области максимального и доминирующего энерговыделения на поверхности земли. Исходя из идеи радиальности повала деревьев, было рассчитано местоположение эпицентра взрыва. Представление об одномоментном и полном разрушении Тунгусского метеороида переключило внимание исследователей с методики поиска «осязаемых» вещественных следов Тунгусского события на изучение разных форм сильно измененного (микросферулы) и сильно рассеянного (до атомарного уровня) вещества.

Данные представления доминируют в широких кругах исследователей до сих пор. При этом следует отметить, что к концу 1960-х гг. прошлого века путем наземной съемки вывала леса [Фаст, 1963, 1967] и дешифрирования аэросъемки 1949 г. района Тунгусской катастрофы [Анфиногенов, 1998]

было установлено, что никакого существенного вывала леса вперед по вероятному направлению движения ТКТ (азимуты 275 – 305 град.) нет.

Графоаналитическим методом [Анфиногенов, 1966, 1998] была построена форма концевой участка воздушной ударной волны Тунгусского болида. Она имела форму веретена с наклоном оси 40–50 град. к поверхности земли и пересечением оси с поверхностью в районе горы Острая с проекцией оси по азимуту 105 – 285 ±5 град.

Площадь сплошного повала деревьев, в том числе (что существенно) на плоскогорьях, явно смещена под ось ударной волны (по Аз. 105 град.) относительно границ «частичного» пятнистого, приуроченного к возвышенностям, несопоставимо слабого – (в запад-северо-западном секторе) – в сравнении с интенсивностью вывала леса в зоне сплошного вывала. Так называемый эпицентр взрыва и вывала леса по этой схеме оказался проекцией крайней нижней точки иссякшего энерговыделения на оси ударной волны. Проекция точек (линии) максимального энерговыделения в ударную волну Тунгусского болида (центр веретена) также смещена на несколько километров от принятого эпицентра по Аз. 105 ± 5 град. [Анфиногенов, 1998. С. 43–44].

Слабый пятнистый вывал деревьев на возвышенностях в запад-северо-западном секторе обусловлен, видимо, действием слабой (в сравнении с базовой) воздушной ударной волной в сочетании с действием очень сильных поверхностных сейсмических волн, сгенерированных базовой ударной волной, с эпицентром в юго-восточном секторе Великой котловины.

Конфигурация области сплошного вывала леса и структура направлений повала деревьев при полученных графоаналитическим путем формы, положения и параметров воздушной ударной волны Тунгусского болида были успешно смоделированы в лабораторных взрывных экспериментах над модельным лесом в 1967 г. в отделе газодинамики Института гидродинамики СО АН СССР. Материалы не опубликованы.

Выводы

Вероятнее всего, если судить по показаниям очевидцев достоверно относящимся к 30 июня 1908 г., Тунгусский болид был так называемым кратным болидом, образованным несколькими сближенными роями разнопрочностных обломков изначального метеороида. Тунгусский феномен оказался классическим болидом с точки зрения масс-энергетического разряда его метеороида (и его обломков) через максимум к истощению «на нет» и «на мизер». Последнее дает шанс на поиски малой толики особо прочных слабоизмененных вещественных остатков входного метеороида.

Заключение

Рассмотрение проблемы Тунгусского феномена 1908 г. в системе болидной феноменологии показывает, что практически по всему комплексу задач, связанных с существенными сторонами распознавания, описания, моделирования и изучения болидных феноменов типа и масштаба ТФ-1908, организация проблеморазрешающей деятельности по ТФ-1908 велась, начиная с 1908 г. по настоящее время, по путям наименьшего сопротивления при выборе позиции исследователя и предмета исследования между образующими суть проблемы противоположностями («за и против», «тезис и антитезис», «актуально-неактуально», «эффектно-неэффектно», «принято-непринято» и пр.). В результате несбалансированности подходов, недостаточно обоснованного увлечения одной из сторон той или иной составляющей ТФ-1908, произвольного или произвольного абстрагирования от некоторых существенных начальных условий и данных при постановке задач, сужения круга задач и не всегда критического отношения к выбранным методикам и полученным результатам – решение проблемы ТФ-1908 заходило в тупик и, главное, нерационально расходовался важный ресурс – время, при хроническом дефиците других ресурсов. Это проявилось и на круге задач по определению типа феномена и на определении типа физико-механических и физико-химических процессов, порождающих болидные феномены такого типа и масштаба, как ТФ-1908, и на круге задач по определению «тактико-технических требований» к родительскому метеороиду ТФ-1908 и его болидным «потомкам». Это касается, естественно, круга задач по работе с приземными и наземными составляющими ТФ-1908: вывалом леса и ударной воздушной волной, землетрясением и геоморфологическими новообразованиями, но, главное, – с рассеиванием и выпадением вещества ТМ-1908, особенно в слабоизмененной форме, а также круга задач по согласованию между собой вновь полученных данных и решений.

Список литературы

1. Зоткин, И.Т. Число крупных болидов по наблюдениям за 50 лет / И.Т. Зоткин, Р.Л. Хотиник // Метеоритика. – 1978. – Вып. 37. – С. 37 – 43.
2. Мак-Кроски, Р.Е. Болиды Прерийной сети. Общие сведения и орбиты / Р.Е. Мак-Кроски, Ц.И. Шао, А. Позен // Метеоритика. – 1978. – Вып. 37. – С. 44–68.
3. Мелош Г. Образование ударных кратеров: геологический процесс / Г. Мелош. – М. : Мир, – 1994. – С. 280–292, 260.
4. Кринов, Е.Л. Метеориты / Е.Л. Кринов. – М. : АН СССР, 1948. – С. 273–274.

5. Бронштэн, В.А. Физика метеорных явлений / В.А. Бронштэн. – М. : Наука, 1981. – 461 с.
6. Бронштэн, В.А. Тунгусский метеорит: история исследования / В.А. Бронштэн. – М. : А.Д. Сельянов, 2000.
7. Анфиногенов, Д.Ф., Фаст, В.Г. Земля и Вселенная. – 1985. – №3. – С. 72–75.
8. Андерс, Э. Метеорит Farmington / Э. Андерс // Метеоритика. – 1976. – Вып. 35. – С. 25–36.
9. Смирнов, В.А. Поиск метеороидов и обнаружение их в метеорных потоках / В.А. Смирнов, А.М. Микина, С.И. Барабанов // Земля и Вселенная. – 1996. – №4. – С. 12–16.
10. Фаст, В.Г. К определению эпицентра взрыва Тунгусского метеорита по характеру вывала леса / В.Г. Фаст // Проблема Тунгусского метеорита. – Томск : Изд-во ТГУ, 1963. – С. 97–104.
11. Фаст, В.Г. Статистический анализ параметров Тунгусского вывала / В.Г. Фаст // Проблема Тунгусского метеорита. – Вып. 2. – Томск : Изд-во ТГУ, 1967. – С. 40–61.
12. Анфиногенов, Д.Ф. О Тунгусском метеоритном дожде / Д.Ф. Анфиногенов // Успехи метеоритики. – Изд-во ИГГ СО АН СССР. – 1966. – С. 20–22.
13. Анфиногенов, Д.Ф. Тунгусские этюды / Д.Ф. Анфиногенов, Л.И. Будаева. – Томск : Изд. ООО «Троц», 1998. С. – 108.
14. Действие ядерного оружия. – М. : Воениздат, 1963.