

К ПРОБЛЕМЕ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Б. В. Войцеховский
(Новосибирск)

Главной особенностью Тунгусского метеорита явилось выделение энергии $E = 10^{16} - 10^{17}$ Дж в атмосфере на высоте не менее 5000 м [1—4]. Причиненные разрушения, называемые общепринятым термином «вывал леса», имели приблизительно центрально-симметричную форму, при этом в центре зоны деревья без веток остались стоять на корню — «телеграфный лес» [1, 2]. Зона разрушений оказалась такой же, как если бы на высоте более 5000 м был взорван неподвижный сферический заряд [3, 4]. На земле отсутствовали следы метеорита и кратера. Загадочность Тунгусской катастрофы привлекла внимание ученых спустя более 10 лет после ее возникновения. До этого не предполагали принципиальных отличий Тунгусской катастрофы от многих ранее известных падений крупных метеоритов. По мере открытия все новых загадочных факторов, относящихся к Тунгусскому метеориту, стремительно начал расти объем исследований, экспедиций и публикаций, посвященных этому явлению.

В 1952 г. академиком М. А. Лаврентьевым высказано два весьма важных принципа, касающихся образования ударной волны.

1. В зоне «вывала леса» параметры ударной волны, созданной бестроеляющим пылевым облаком, не будут отличаться от параметров ударной волны, образованной газовым облаком с равным полем скоростей и плотностей.

2. На границе области разрушений (в зоне «вывала леса») контуры ударной волны с равными параметрами будут иметь центрально-симметричную форму с центром, смещенным на расстояние l от места взаимодействия облака с атмосферой в направлении движения облака. Величина l определена в изложенных ниже экспериментах, она зависела от массы облака.

Для получения газового или пылевого облака, движущегося поступательно, проще всего оказалось взорвать тонкий диск взрывчатого вещества у экрана. Известно, что при взрыве такого заряда ВВ хорошо проявляется направленное действие взрыва. Разлет продуктов детонации происходит в основном в направлении, перпендикулярном поверхности. В начальный момент энергия взрыва переходит в кинетическую энергию поступательного движения продуктов детонации. Газовое облако постепенно передает свою кинетическую энергию все большему количеству воздуха. Впереди продуктов с большой скоростью движется ударная волна с предельной степенью сжатия $(\gamma + 1)/(\gamma - 1) \approx 6$, где γ — показатель адиабаты воздуха. Траектории частиц продуктов или пылевого облака, образованного слоем песка на диске, а также воздуха за фронтом волны незначительно зависят от начальной скорости в пределах постоянства степени сжатия. Поэтому, экспериментируя с относительно малыми скоростями,

получаемыми при взрыве заряда ТГ 50/50 у экрана ($\approx 2,5$ км/с), можно моделировать скорости порядка первой космической.

Для измерения величины положительной полуволны импульса использованы механические импульсомеры, фиксирующие $I = \int_0^{t_0} p^d t / (p(t_0) = 0)$. Импульсомеры предназначены для измерений на удалении от заряда порядка $50r_0$ и более (r_0 — радиус заряда той же массы, что в случае диска). Они расставлялись в зоне, где боковой импульс па корпус не влиял на точность измерения.

Очевидно, что при взрыве сферического заряда ВВ линии равных импульсов представляют собой концентрические окружности. На рис. 1 схематически показаны линии равных импульсов, записанные в эксперименте, для взрыва заряда на экране в точке O . Видно, что они, с известной степенью точности, представляют дуги концентрических окружностей с центром в точке O_1 . Контрольными экспериментами со сферическими зарядами той же массы показано, что плоский заряд у экрана на больших расстояниях дает такое же поле импульсов, как сферический той же массы, смещенный вдоль оси на расстояние $l \approx 50r_0$.

Теперь перейдем от модели к натуре. При первой космической скорости Тунгусский метеорит должен иметь массу более 10^9 кг. Для определения смещения центра взрыва метеорита ($L = 50R_0$) находим радиус R_0 сферического заряда ТГ 50/50 массой 10^9 кг. При этом следует отметить, что для величины L существенна масса, а не энергия. Эти вычисления дают $L \approx 3000$ м.

Если допустить, что на высоте 12 000 м облако пачнет диспергирование по законам гидродинамики, то величина смещения L_1 возрастает пропорционально корню квадратному из отношения плотностей воздуха, взятых при нормальных условиях и в условии высоты 12 000 м. Эта поправка дает удвоение смещения. Таким образом, пылевое облако массой более 10^9 кг, войдя в верхние относительно плотные слои атмосферы, создает эффект сферического взрыва в точке, смещенной на расстояние $L_1 = 6000$ м вдоль полета от места входа в плотные слои атмосферы. Учитывая угол входа метеорита в атмосферу ($\alpha \approx 17^\circ$), центр симметрии импульсов будет на высоте примерно 10 000 м от поверхности земли [3, 4].

Для дополнительной проверки образования ударной волны под действием пылевого облака произведена серия взрывов удлиненных зарядов массой 10 кг в оболочке из песка. Коэффициент k , равный отношению веса ВВ к суммарному весу заряда и оболочки в экспериментах, составил 20, 30, 50, 100 процентов. Заряды устанавливались в вертикальном положении; соответственно ударная волна

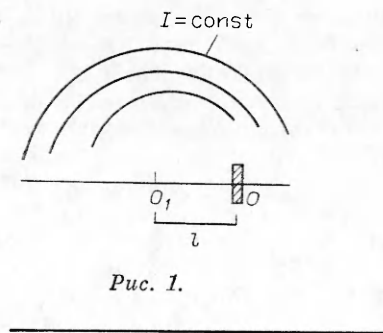
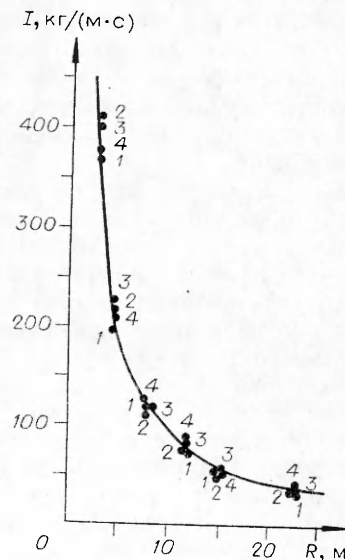


Рис. 1.

Рис. 2.



имела осесимметричную форму. На рис. 2 представлены результаты опытов для замера при отношении длины заряда к диаметру, равном 5. Цифрами 1, 2, 3, 4 обозначены точки, соответствующие зарядам с $k = 20, 30, 50, 100\%$. Как показывают эти данные, поле импульсов при введении оболочки из песка на достаточном удалении от заряда остается неизменным. Аналогичный результат дали эксперименты при относительном удлинении заряда 1,5.

Определение пиковых давлений в ударной волне путем пересчета из поля скоростей за фронтом волны показывает, что, начиная с расстояния $60r_0$, заряды с разным коэффициентом заполнения имеют равные поля пиковых давлений, т. е. положительные полуволны остаются одинаковыми при равных энергиях разных пылевых облаков на расстояниях более $60r_0$.

Таким образом, изложенные результаты опытов подтверждают высказанные выше принципы и показывают, что для равенства поля импульсов достаточно потребовать равенства кинетической энергии продуктов и пылевого облака. Вследствие совпадения пиковых давлений при удалениях более $60r_0$, можно считать, ввиду равенства импульсов, совпадающими и профили волн. Для сравнения заметим, что «вывал леса» произошел на расстоянии более $100r_0$.

В работе [5] автор уделяет большое внимание анализу «вывала леса», а также, учитывая геомагнитные эффекты, настаивает на предположении, что энергия выделилась на высоте не ниже 5000 м, на участке не более 5000 м, следовательно, это должен быть сферический взрыв. При этом он упорно ищет доводы в пользу выделения необычайной внутренней энергии метеорита.

Объяснение Тунгусской катастрофы желательно свести к минимальному привлечению необычных представлений. Впервые предположение о пылевом происхождении Тунгусского метеорита в 1941 г. высказал академик В. И. Вернадский [6]. Однако в дальнейшем он не настаивал на своем утверждении. В 1975 г. академик Г. И. Петров [7] развил теорию Тунгусского метеорита, основанную на предположении о вторжении в атмосферу большого объема снежной массы малой плотности. Наиболее вероятная скорость метеорита должна быть равной первой космической, учитывая, что светлые ночи возникли в различных частях земного шара еще до Тунгусской катастрофы [3, 4].

Для расчета максимально возможного пути (оценки сверху), пройденного пылевой массой в воздухе, учитывая оценочный характер приводимых количественных данных, главная погрешность которых связана с невозможностью более точного определения энергии, выделившейся в атмосфере, пренебрегая меньшими погрешностями — влиянием сжимаемости воздуха и формой метеорита на длину его пути в атмосфере, используем выражение (1) — формулу М. А. Лаврентьева для глубины пробивания кумулятивной струей [8].

$$\frac{dl}{dh} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_1}}, \quad (1)$$

где dl — элемент длины воздушного пути, пробитый элементом диаметра dh метеорита; ρ_0 — плотность метеорита; ρ_1 — плотность воздуха.

При диаметре метеорита, рассчитанного из условий $E = 10^{17}$ Дж, насыпная плотность 2000 кг/см^3 и скорость 10^4 м/с , длина пути его торможения в верхних слоях атмосферы составит $\sim 10^4 \text{ м}$. Однако в действительности его путь торможения мог быть значительно короче. Учитывая, что в лобовой области встречи с атмосферой динамический напор достигает максимума, а на боковой периферии он практически равен нулю, можно считать что пористая масса метеорита будет взорвана сжатым воздухом изнутри и затормозится на пути в несколько раз меньшем, чем это следует при расчете деформируемого, но непроницаемого тела.

К числу труднообъяснимых вопросов, касающихся Тунгусского метеорита, относится, в частности, происхождение сил, препятствующих разлету частиц под действием электростатического поля. Не исключена возможность формирования метеорита из частиц, обладающих магнитным моментом. Масса, собранная из таких магнитных диполей, должна иметь свойства капли жидкости и иметь плотность, близкую к насыпной плотности составляющих частиц. Силовые линии будут замкнуты внутри массы.

Необходимо подчеркнуть, что Тунгусский метеорит должен был разрушаться не под действием медленно распространяющейся тепловой волны, а под действием встречного напора воздуха. При малой прочности метеоритной массы волна деформации в теле метеорита распространяется в несколько тысяч раз быстрее тепловой волны. После диспергирования пылевое облако отдает свою энергию в ударную волну на относительно коротком пути.

Таким образом, показано, что ударная волна, образованная диспергируемым метеоритом, эквивалентна точечному взрыву с энергией, равной кинетической энергии метеорита (10^{17} Дж) в точке, смещенной в направлении его начальной скорости на расстояние $\approx 50r_0$ от места входа в плотные слои атмосферы.

*Поступила в редакцию
5/II 1980*

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Кулик. Вестн. АН СССР, 1932, 11, 67.
2. Л. А. Кулик. Докл. АН СССР, 1939, 22, 8, 520.
3. Г. Ф. Плеханов. Предварительные итоги двухлетних работ комплексной самостоятельной экспедиции по изучению проблемы Тунгусского метеорита. Томск, Изд-во ТГУ, 1963.
4. Н. В. Васильев, В. К. Журавлев и др. Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита. Томск, Изд-во ТГУ, 1967.
5. А. В. Золотов. Проблема Тунгусской катастрофы. Минск, Наука и техника, 1969.
6. В. И. Вернадский. Проблемы Арктики, 1941, 5.
7. Г. И. Петров, В. П. Суслов. Земля и Вселенная, 1975, 4, 74.
8. М. А. Лаврентьев. Усп. мат. наук, 1957, 12, 4, 41.

ТУШЕНИЕ ПОЖАРОВ НА ГАЗОНЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ С ПОМОЩЬЮ ВИХРЕВЫХ КОЛЕЦ

*Д. Г. Ахметов, Б. А. Луговцов, В. Ф. Тарасов
(Новосибирск)*

1. В связи с освоением нефтяных и газовых месторождений Западной Сибири особое значение приобрели задачи обеспечения пожарной безопасности процессов бурения и эксплуатации скважин, а также задачи быстрой ликвидации пожаров на аварийно-фонтанирующих скважинах.

В настоящее время тушение пожаров на фонтанирующих скважинах осуществляется в основном двумя способами: с помощью мощных водных струй, направляемых под основание факела, и с помощью газовой струи, создаваемой авиационным турбореактивным двигателем [1]. Применение этих методов требует привлечения большого количества людей и специальной техники, создания больших запасов воды и проведения