ПРОБЛЕМНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА имени В. В. КУИБЫШЕВА

КОМИССИЯ ПО МЕТЕОРИТАМ И КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ СО АН СССР ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО СССР. ТОМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ. ТРУДЫ, ТОМ 6. ТОМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ПРОБЛЕМА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

ВЫПУСК 2



К ОЦЕНКЕ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ ТУНГУССКОГО ВЗРЫВА

В. К. ЖУРАВЛЕВ

Установление доли энергии, выделившейся при взрыве Тунгусского метеорита в виде света, чрезвычайно важно. Известно, что отношение $f=rac{E_c}{E}$ (где E — полная энергия взрыва, E_c — энергия светового излу-

чения взрыва) для ядерных взрывов составляет $(3 \div 4) \cdot 10^{-1}$, тогда как для обычного химического взрыва f, по-видимому, не превышает $10^{-5}[1]$. Следовательно, определение f дает возможность установить природу взрыва (химический или ядерный). Заметим, что для получения надежного ответа на вопрос о природе взрыва нет необходимости определять ј с большой точностью. Погрешность при определении E или \dot{E}_c может составлять, например, 50%. Величина E может быть определена с достаточной точностью несколькими независимыми методами — по площади вывала леса, по барограммам, магнитограммам и сейсмограммам взрыва. В настоящее время наиболее надежный интервал значений E составляет от $0.8 \cdot 10^{23}$ эрг до $10 \cdot 10^{23}$ эрг [3]. Определение E_c возможно двумя независимыми путями: по границе области ожога деревьев (которая, согласно результатам работ экспедиции 1965 года, находится на расстоянии 8—9 км от эпицентра) и по показаниям очевидцев из Ванавары и окрестных эвенкийских стойбищ. Эти показания содержат детали, по которым можно грубо оценить величину светового импульса в указанных пунктах [1, 2]. Однако при проведении этих расчетов необходимо знать функцию ослабления р или коэффициент прозрачности атмосферы в мо-

А. В. Золотов [1, 2] рассчитал величину E_c по формуле:

$$E_c = 4\pi D^2 J e^{\mu D}, \tag{1}$$

где J—световой импульс, $\kappa \alpha n/c m^2$; D—расстояние, км от поверхности светящейся области до точки, в которой определяется J, μ —коэффициент поглощения, км $^{-1}$, принятый Золотовым равным 0,033 км $^{-1}$. К. П. Станюкович и В. А. Бронштэн [4], а также К. П. Флоренский [5] подвергли критике расчет Золотова на том основании, что значение μ (или $p=e^{\mu}$) было взято явно нереальным.

Формула (1) использовалась также в работе [6] для определения E_c по ожогу лиственниц в предположении, что световой импульс на границе области ожога составлял 5—15 $\kappa a n/c m^2$. В этом случае световой импульс в Ванаваре $J_B = 0{,}0004 \ \kappa a n/c m^2$ при наилучшей прозрачности. Такая величина импульса противоречит показаниям очевидцев в Ванаваре, ощу-

щения которых, если считать их показания достоверными, соответствова-

ли, по крайней мере,
$$J_B \sim 0.1 \, \frac{\kappa \alpha \, n}{c \, m^2}$$
. Верхний предел $J_B \simeq 3 \, \kappa \alpha \, n/c \, m^2$.

В упомянутых работах игнорировалось одно существенное обстоятельство, а именно, что при расчете светового импульса сильных взрывов нельзя пренебрегать рассеянным световым излучением. Формула (1) в применении к световому излучению сильных взрывов в лучшем случае может служить лишь для очень грубой оценки нижней границы значений [7], [8], поскольку она не учитывает рассеянного излучения. Наличие в реальной атмосфере рассеянного излучения приводит к существенно более слабой зависимости р от D. Это обстоятельство делает в значительной степени беспредметной упом'янутую выше дискуссию о правильном выборе значения p. Формулы для расчета величины J (если известно E_c) или E_c (если известно J) для реальных условий приведены в [8].

Так, световой импульс можно рассчитать по соотношению:

$$J = \frac{E_c p}{4\pi D^2} = \frac{f E p}{4\pi D^2} \ , \tag{2}$$

которое при f=1/3, значениях J, выраженных в $\kappa \alpha n/c m^2$, E в $\kappa u no$ тон lax, D-в км, преобразуется к виду:

Для достаточно высоких взрывов применима также формула:

$$J = \frac{1.22 \, Ep}{H^2} \cdot \sin^2 \varphi,\tag{4}$$

где φ — угол возвышения центра взрыва, Н — высота однородной атмосферы, ее значение принято ниже равным 8 км. Значения р, которые необходимо определить для заданного значения метеорологической дальности видимости S, в зависимости от расстояния до светящейся области, находятся по графикам 7.104 и 7.109 в [8]. На этих графиках приведены значения р для трех значений видимости S: 150 км, 80 и 16 км.

Обычные значения функции ослабления в Ванаваре, по данным Ванаварской метеостанции, за последние десять лет не выходят за пределы 0,6—0,1. В 1963 году были организованы актинометрические наблюдения на Заимке Кулика. Наблюдения проводили В. А. Сапожникова и Н. И. Заздравных. Было установлено, что в районе эпицентра Тунгусского взрыва функция ослабления меняется в тех же пределах, что и в Ванаваре. Пределы колебаний в утренние часы составляют 0,5—0,1. Было также отмечено, что на болотах этого района летом нет туманов, которые держатся до 6—7 часов утра. Обычно к 3—4 часам ночи туманы исчезают.

В табл. 1 приводятся результаты расчета энергии E_c для двух значений J (эти значения выбраны на основе данных, взятых из [8]), двух возможных высот взрыва и трех различных значений S, рассчитанные по формулам (2) — (4) и графикам, взятым из [8]. Расстояние от эпицентра световой вспышки до границы ожога принято равным 8 км. Взятые для

расчета E_c значения J отнесены к этому расстоянию.

Значения f, соответствующие величинам E_c , данным в табл. 1, оказываются в пределах от 0,006 до 0,5. Рассчитаем теперь величину светового импульса в Ванаваре для двух вариантов взрыва. В обоих случаях примем f = 0,3.

1-й в ариант. E=2000 кт, h=6 км, D=65 км, экстраполируя график $7 \cdot 104$ из [8] на расстояние 65 км, получим p = 0.43.

$$J_B = \frac{1,04 \, Ep}{D^2} = \frac{1,04 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,43}{4,25 \cdot 10^3} = 0,2 \, \kappa a n/c m^2$$

2-й вариант. $E=10000\,$ кт, $h=12\,$ км, $D=65\,$ км. По графику 7.109 из 8 находим для S=80 км при угле возвышения $\phi=10^{\circ}5$, что p = 0,42.

 $J_B = \frac{1,22 Ep}{H^2} \sin^2 f = \frac{1,22 \cdot 10^4 \cdot 0,42}{64} \cdot 0,033 = 2,7 \ \kappa a \pi / c m^2.$

Сделанные оценки дают основание для следующих выводов.

1. Коэффициент f даже для чистого воздуха оказывается очень высоким. Если принять p порядка 0,4-0,6-3 значения, типичные для рассматриваемого района, то даже для J=5 кал/см² получится $f\sim 0.1$, т. е. величина, типичная для ядерных взрывов.

2. В том случае, если принять p=0.8-0.9, значения f оказываются порядка 0,005, т. е. на два порядка больше, чем при взрывах обычных

бризантных взрывчатых веществ.

3. Результаты определения границы области ожога согласуются с показаниями очевидцев в Ванаваре только при учете рассеянного светового излучения и при $f \sim 0.1$.

Следовательно, расчет подтверждает уже высказывавшееся раньше утверждение [2], [6] о необычно высоком значении доли световой энергии,

сопровождавшей падение Тунгусского метеорита.

Если причиной светового излучения был взрыв, то можно сделать вывод, что по концентрации энергии на единицу массы взорвавшегося вещества он не отличался от типичного ядерного взрыва. Расчет, выполненный К. П. Станюковичем и В. П. Шалимовым [9], приводит к заключению, что обычный метеорит, двигающийся в нижних слоях атмосферы со скоростью больше 30 км/сек. создает баллистическую ударную волну, световое излучение которой имеет мощность, сравнимую с мощностью светового излучения огненного шара ядерного взрыва. Однако свечение болидов при скоростях свыше 10 км/сек экспериментально не изучено и выводы авторов [9] еще требуют проверки [10]. Подтверждение этого результата будет означать возможность объяснения световых эффектов Тунгусского метеорита в рамках обычных представлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотов А. В., Дядькин И. Г. Результаты исследования радиоактивности и лучевого ожога деревьев в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. Отчет экспедиции, г. Октябрьский, 1959.

тяорьскии, 1959. 2. Золотов А. В. Докл. АН СССР, 136, № 1, стр. 84, 1961. 3. Маслов Е. В. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита», стр. 105, Томск, 1963. 4. Станюкович К. П., Бронштэн В. А. Докл. АН СССР, 140, № 3, стр. 583, 1961.

5. Флоренский К. П. Метеоритика, 23, стр. 3, 1963. 6. Зенкин Г. М., Ильин А. Г. Метеоритика, 24 стр., 129, 1964. 7. Архипов М. П. Световое излучение атомного взрыва, Воениздат, М., 1965. 8. Действие ядерного оружия. (Пер. с англ.), Воениздат. М., 1963. 9. Станюкович К. П., Шалимов В. П. Метеоритика, 20, стр. 54, 1961. 10. Ромиг М. Ракетная техника и космонавтика, 3, стр. 3, 1965.

Таблица 1 СВЕТОВАЯ ЭНЕРГИЯ ТУНГУССКОГО ВЗРЫВА

рианта	1	2	3	4	5	6	7
ь види- км	16	16	_	80	80	80	150
ослабле-	0,5	0,65	0,4	0,67	0,73	0,8	0,88
зрыва	6	6	10	10	10	6	10
ветящей- асти <i>r</i> км	<1	2	<1	<1	5	2	<1
Световой импульс 5 кал см²	1,3.1022	6,6.1021	1,5.10 ²²	8,9.10 ²¹	6·10 ²¹	5,4.10 ²¹	6,8.1021
Световой импульс 15 Кал см 2	3,9.10 ²²	2.1022	4,5.10 ²²	$2,7 \cdot 10^{22}$	1,8.1022	1,6.1022	2,0.1022
	ослабле- ветящей- вети <i>r</i> км Свето- вой им- пульс Свето- вой им- пульс	ослабле- ос	6 ВИДИ- 16 16 ослабле- 0,5 0,65 зрыва 6 6 ветящей- <1	6 ВИДИ- КМ 16 16 — ослабле- ослабле- ослабле- ослабле- ослабле- ослабле- обратира образовать образоват	6 ВИДИ- КМ 16 16 — 80 ослабле- ослабле- ослабле- зрыва 0,5 0,65 0,4 0,67 зрыва 6 6 10 10 ветящей- ости r км <1	6 ВИДИ- КМ 16 16 — 80 80 ослабле- ослабле- ослабле- зрыва 0,5 0,65 0,4 0,67 0,73 зрыва 6 6 10 10 10 ветящей- ости r км <1	6 ВИДИ-КМ 16 16 — 80 80 80 ослабле-ослабле