

УДК 541.115

В.А. Батенков

## Разгадка тайны Тунгусского метеорита

Если собрать вместе все сообщения и публикации, посвященные Тунгусскому метеориту, то можно получить многотомное издание. Имеется целый ряд попыток, пытающихся объяснить явления, процессы и результаты падения Тунгусского метеорита в 1908 г. Однако до настоящего времени, почти за 100 лет, убедительных, научно обоснованных объяснений этому событию нет, по-видимому, потому, что ими занимались преимущественно физики, слабо знающие химию. Пока всем непонятно, почему громадный метеорит, падение которого сопровождалось необычайно ярким свечением, мощными звуковыми и даже сейсмическими явлениями, а затем воздействием на атмосферу всего земного шара, произвел лишь радиальные вывалы леса, притом не в одном, а в нескольких местах. На это требовалось далеко не та мощная энергия, которая выделилась при падении метеорита. Непонятно, куда исчез метеорит, так как нет никаких свидетельств (воронки) падения массивного тела на земной поверхности. Обнаруживаются лишь очень мелкие оплавленные каменные шарики. Если это была громадная ледяная глыба, которая при падении растаяла и испарилась, то неясно, как, от каких взрывов произошли радиальные вывалы леса и куда делась громадная масса воды, которая должна была бы обрушиться на тайгу после ее конденсации. Экстравагантные объяснения типа прилета космического корабля и им подобные всерьез рассматриваться не могут.

Разгадка тайны Тунгусского метеорита может быть найдена, если знать и использовать физико-химические свойства воды. Объяснения, приведенные ниже, основаны на известном свойстве воды [1] разлагаться при температуре выше 1000 °С на кислород и водород:  $H_2O + Q_{1,разл.} = H_2 + SO_2$ , а при более высоких температурах – по реакции:  $H_2O + Q_{2,разл.} = SH_2 + OH$ .

Здесь  $Q_{1,разл.} = 57,8$  ккал/моль = 3210 ккал/кг,  $Q_{2,разл.} = 67,5$  ккал/моль = 3750 ккал/кг.

Общее количество тепла  $Q_{превр.}$ , необходимого для превращения 1 кг метеоритного льда в продукты разложения воды, составит:  $Q_{превр.} = Q_{нагрева\ льда} + Q_{плавления\ льда} + Q_{нагрева\ воды} + Q_{испарения} + Q_{нагрева\ пара} + Q_{разложения} = c_{р,льда} \Delta T_{льда} + Q_{плавл.} + c_{р,воды} \Delta T_{воды} + Q_{испарения} + c_{р,пара} \Delta T_{пара} + Q_{разложения}$ .

Значения интервала температур  $\Delta T$  можно выбрать следующим образом. Мы не знаем температуру космического льда. Самое низкое возможное ее значение равно  $-273$  °С. Однако оно маловероятно, так как при освещении солнцем лед метеорита будет нагреваться. Такой нагрев хорошо известен космонавтам. Примем, что исходная температура льда составляла  $-200$  °С, хотя скорее она была несколько выше. Отсюда:  $\Delta T_{льда} = 200$  °С. Значение  $\Delta T_{воды}$  зависит от давления. Оно равно 100, 180, 270, 310, 370 °С при давлении 1, 10, 50, 100, 200 атм соответственно. Примем, что  $\Delta T_{воды} = 300$  °С. Значение  $\Delta T_{пара}$  также сильно зависит от давления, так как с увеличением давления доля разложившейся воды, согласно принципу Ле-Шаталье, будет снижаться. При давлении в 1 атм и температуре 5000 °С пары воды со взрывом разлагаются на кислород и водород, а при температуре около 1000 °С они со взрывом соединяются [1, с. 123, 126, 135]. Однако при давлении 10 атм и 5000 °С доля разложившейся воды составляет около 70%, а при давлении 100 атм – около 50%. По-видимому, нельзя рассчитывать, что вся вода должна разложиться. Даже если бы ее разложилось 50%, то эффект обратного взрыва был бы слишком велик. Поэтому примем, что  $\Delta T_{пара} = 4000$  °С, хотя, очевидно, это тоже завышенное значение.

Из справочных данных [2] для удельной теплоемкости льда, воды, пара и теплот плавления, испарения и разложения можно использовать следующие значения:  $c_{р,льда} = 0,2$  ( $-200$  °С) ...  $0,4$  (0 °С) ккал/кг·°С  $\approx 0,3$  ккал/кг·°С,  $c_{р,воды} \approx 3$  ккал/кг·°С (при давлении 300 атм),  $c_{р,пара} = 0,5$  (100 °С, давление 1 атм) ...  $0,7$  (740 °С, давление 300 атм) ккал/кг·°С  $\approx 0,6$  ккал/кг·°С,  $Q_{плавления} = 1,436$  ккал/моль = 80 ккал/кг,  $Q_{испарения} = 10,5$  ккал/моль = 580 ккал/кг,  $Q_{разложения} = 57,8 - 67,5$  ккал/моль = 3208 ... 3746 ккал/кг  $\approx 3600$  ккал/кг. Используя эти данные получим:

$$Q_{превр.} = 0,3 \cdot 200 + 80 + 3 \cdot 300 + 580 + 0,6 \cdot 4000 + 3600 = 7620 \text{ ккал/кг} \approx 33000 \text{ кДж/кг.}$$

Количество тепла  $Q_{торм.}$ , выделяющегося при торможении движения 1 кг метеоритного льда до нулевой скорости, будет равно его исход-

ной кинетической энергии  $E_{кин.}$ . Последняя определяется начальной скоростью движения метеорита относительно Земли  $v$ , которая зависит как от скорости движения Земли и метеорита, так и от вектора их движения относительно друг друга. Скорость движения Земли по орбите близка к 30 км/с. Скорость движения метеорита нам неизвестна. Она может лежать, например, в пределах от 8 до 30 км/с. При встречном движении Земли и метеорита максимальная суммарная скорость столкновения составила бы около 60 км/с. Но это маловероятно для Тунгусского метеорита, так как его движение относительно Земли было скольльзящим. По-видимому, его направление движения было близко к перпендикулярному относительно орбиты Земли. Следовательно, начальная скорость столкновения была не более 30 км/с. Примем, что она была даже ниже 20 км/с. Отсюда получим:

$$Q_{торм.} = E_{кин.} = 0,5 mv^2 = 0,5 \cdot 1[кг] \cdot (20000)^2 [м^2/с^2] = 2 \cdot 10^8 \text{ Дж/кг} = 200000 \text{ кДж/кг.}$$

Из сравнения значений  $Q_{торм.}$  и  $Q_{превр.}$  нетрудно видеть, что теплоты, выделяющейся при торможении ледяного метеорита, вполне достаточно не только для его плавления и испарения, но и для нагрева и разложения воды на исходные компоненты. Однако это скорее далеко не так, поскольку значительная часть тепла будет быстро рассеиваться в окружающую атмосферу из-за высокой разности температур и большой скорости движения в ней метеорита. Очевидно, лишь в лобовой части метеорита создаются условия для высокого роста давления и температуры, достаточной для разложения воды.

Учитывая вышеизложенное, картину падения Тунгусского метеорита можно смоделировать следующим образом. Громадная ледяная глыба, покрытая космической пылью, вошла под острым углом в атмосферу, начала торможение и стала разогреваться. Есть свидетельства, что свечение метеорита было отмечено уже в районе Владивостока, а завершение тор-

можения произошло в бассейне Подкаменной Тунгуски, т.е. примерно через 4 тыс. км. На этом пути росло разогревание глыбы, особенно в ее лобовой части, она растрескивалась уже в самой массе метеорита. Поэтому ближе к концу торможения можно было наблюдать несколько по-разному светящихся тел. Максимальное сжатие газов и разогрев фрагментов метеорита до нескольких тысяч градусов, по крайней мере их передней части, было достигнуто в конце их торможения, причем в разное время для отдельных фрагментов метеорита, которые к тому же разошлись в разные стороны. В конце их движения облака продуктов разложения воды («гремячий газ»), которые были сдавлены вследствие торможения отдельных фрагментов и нагреты до нескольких тысяч градусов, после быстрого расширения и охлаждения взорвались в атмосфере с образованием паров воды, вызвав лесные пожары и концентрические вывалы леса. При этом частицы пыли расплавились и выпали в виде мелких шариков. Возможно, при взрыве «гремячего газа» отдельные хвостовые части льда могли быть отброшены в обратном, юго-восточном направлении. Таким образом, остатки метеорита, например появившиеся озера, следовало искать не прямо по курсу движения метеорита, а скорее в противоположном направлении.

Общие масштабы воздействия падения Тунгусского метеорита на атмосферу Земли оценить трудно, так как неизвестна исходная масса метеорита  $m$  и скорость его столкновения с Землей  $v$ . Если принять  $v = 20$  км/с и художественное выражение «чудовищный взрыв в две тысячи Хиросим», то можно определить массу Тунгусского метеорита. Так, «две тысячи Хиросим» представляют собой две тысячи атомных бомб с энергетическим тротиловым эквивалентом в 1 килотонну каждая. Общая сумма будет равна: 2000 килотонн =  $2 \cdot 10^9$  кг или  $Q_{общее} = 2 \cdot 10^9 \cdot 1000 \text{ ккал} = 2 \cdot 10^{12} \text{ ккал} \approx 8 \cdot 10^{12} \text{ кДж}$ . Здесь 1000 ккал – тротиловый эквивалент. Отсюда получим:  $m = Q_{общее} / Q_{торм} = 8 \cdot 10^{12} / 2 \cdot 10^5 = 4 \cdot 10^7 \text{ кг} = 40000 \text{ т.}$

## Литература

1. Некрасов Б.В. Основы общей химии. Изд. 3-е. М., 1974. Т. 1.
2. Справочник химика. 2-е изд. М., 1963. Т. 1.