

## ПРИРОДА ТУНГУССКОГО ВЗРЫВА / ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

### *Юрий Аркадьевич Николаев*

Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15, старший научный сотрудник

### *Павел Аркадьевич Фомин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры специальных устройств и технологий; Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 15, тел. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

Показано, что Тунгусское событие представляло собой взрыв тороидального облака, образованного разовым выбросом газогидратного метана в атмосферу. Взрыв инициирован небольшим, полого летевшим метеоритом.

**Ключевые слова:** Тунгусский взрыв, Тунгусский метеорит.

## THE NATURE OF TUNGUSKA EXPLOSION / TUNGUSKA METHEORITE

### *Yuriy A. Nikolaev*

Lavrent'ev Institute of Hydrodynamics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrent'eva pr. 15, senior researcher

### *Pavel A. Fomin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., Prof. of the Department of Special Devices and Technologies; Lavrent'ev Institute of Hydrodynamics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrent'eva pr. 15, tel. (383)361-07-31, e-mail: kaf.suit@ssga.ru

It is shown that Tunguska event was an explosion of a toroidal cloud formed by a single ejection of hydrate methane in the atmosphere, initiated by a small flat-moving meteorite.

**Key words:** Tunguska explosion, Tunguska meteorite.

Обзор фактических данных по Тунгусскому явлению приведен в [1, 2]. Напомним лишь основные из них. Пролетающий раскаленный метеорит был виден уже за сотни километров от эпицентра взрыва. Основное энерговыделение взрыва произошло на высоте нескольких километров над поверхностью Земли. Внешняя граница области вывала леса представляла собой “бабочку” с характерным размером порядка нескольких десятков километров и десятками миллионов поваленных деревьев. Присутствовал “телеграфный лес” (стоящие деревья без крон). Встречались области “обратного” вывала, когда верхушки поваленных массивных деревьев направлены в сторону от эпицентра взрыва, в то время как верхушки рядом лежащих тонких деревьев направлены в сторону эпицентра. Имело место общее (суммированное по всем деревьям) отклонение вывала леса от радиальности. То есть присутствовала общая “закрутка” вывала

леса, вызванная гигантским (масштаба нескольких десятков километров) вихрем. Картина вывала леса свидетельствует и о несимметрии самого вихря вблизи поверхности земли. Взрыв сопровождался ожогом, пожаром леса и крупномасштабными геофизическими явлениями (магнитными бурями, нарушением озонового слоя и т.д.). За несколько дней до взрыва над Европой наблюдались серебристые облака. Их яркость возросла после взрыва. Каких-либо крупных осколков небесных тел обнаружено не было. Найдены лишь микронные частицы, которые по составу можно сопоставить с метеоритом. В районе эпицентра на поверхности земли обнаружены валуны (“камни Джона”) размером порядка нескольких метров и состоящие из осадочных пород, идентичных породам, залегающим в районе эпицентра на глубине в несколько сотен метров. На такой глубине в районе эпицентра залегают и газовые гидраты.

Общая картина явления представлена на рис. 1. За несколько минут (или десятка минут) до пролета метеорита произошел разовый выброс массы сжатого метана порядка 200 кт из подземной камеры, находящейся на глубине порядка нескольких сотен метров и имеющей характерный размер порядка 200 метров. Наличие свободного метана связано с разложением газогидратов. Выброс метана сопровождался выбросом обнаруженных возле эпицентра взрыва “каменной Джона”. Масса метана и размеры тороидального облака рассчитаны из равенства энергии взрыва соответствующей массы метано-воздушной смеси и общепринятой энергии взрыва, полученной в предположении разрушения космического тела в атмосфере. Если принять во внимание, что давление ударной волны в “дальней” зоне от облака топливно-воздушной смеси больше, чем от взрыва эквивалентного заряда конденсированного взрывчатого вещества, то масса метана, выброшенного до Тунгусского взрыва, получится существенно меньше.

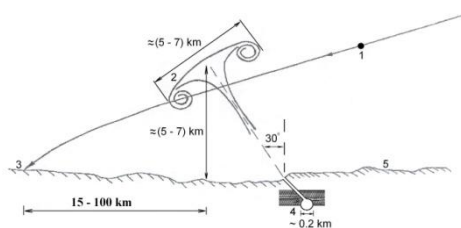


Рис. 1. Схема Тунгусского взрыва [3]

1 - метеорит; 2 - газовый тор (метано-воздушная смесь); 3 - место падения метеорита; 4 – газогидратный слой и газовая камера; 5 - поверхность Земли

Вывал леса при Тунгусском взрыве моделировался в работе [3] взрывом тора из незамкнутого кольца, состоящего из пяти детонирующих шнуров. Общая масса взрывчатки - 25г. Детонатор располагался в нижней части кольца. Разрыв в связке детонирующих шнуров составлял около 2 см. Детонация обегала кольцо по часовой стрелке. Диаметр и средняя высота кольца над поверхностью составляли 15 см и 19 см соответственно. Наклон плоскости кольца к горизонтالي составлял 30°. Лес имитировался вертикально стоящими медными проволочками высотой 3 см и диаметрами 2.7 мм и 0.5 мм, расположенными

в шахматном порядке (30×30 ячеек) с шагом 5 см. Результаты статистической обработки эксперимента и их сравнение с вывалом леса приведены на рис. 2. АВ - ось симметрии. Нижняя часть кольца располагалась слева. 1 - проекция кольца на землю; 2 – зона «хаоса», в которой огибающие проекций проволоочек пересекаются; 3 – огибающие проекций проволоочек; 4 – огибающие вывала леса [1, 2]. — — — - граница вывала леса [1, 2]; ——— - граница отклонения толстых проволоочек от вертикали на 5 градусов; ·—·—· - граница отклонения тонких проволоочек от вертикали на 60 градусов; — — → - отклонение вывала леса от радиальности [1, 2], ———→ - отклонение проекций проволоочек от радиальности. Относительная длина стрелочек соответствует относительному отклонению поваленных деревьев и проекций проволоочек от радиальности. Из рис. 2 видно, что вывал проволоочек похож на реальную картину вывала леса не только чисто внешне (совпадение «бабочек» вывала, наличие «телеграфного» леса и «обратного» вывала), но и эквивалентен ей статистически (наличие и величина общей «закрутки» вывала и т.д.).

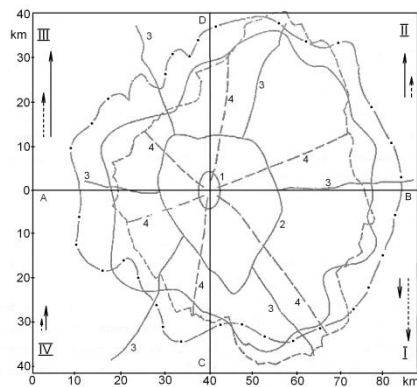


Рис. 2. Эксперимент по вывалу леса

Для определения возможных траекторий метеорита и его скорости, а также места его возможного падения решалась обратная задача с учетом взаимного притяжения Земли, Солнца и метеорита, движения Земли вокруг Солнца и ее вращения вокруг оси, аэродинамического сопротивления движению метеорита в атмосфере и зависимости ее плотности и температуры от высоты. Задавались угол и скорость встречи сферического метеорита с поверхностью Земли, а также его размер. Из всех возможных выбирались траектории, удовлетворяющие условиям: метеорит стартовал из пояса астероидов, в момент инициирования высота траектории составляла 5-7 км, высота полета на расстоянии 300 км от эпицентра не превышала 120 км, метеорит не подвергался распаду до встречи с Землей, Указанным условиям удовлетворяют небольшие (размером не более 15 м) метеориты, возможное место падения находится на расстоянии 20–100 км от эпицентра.

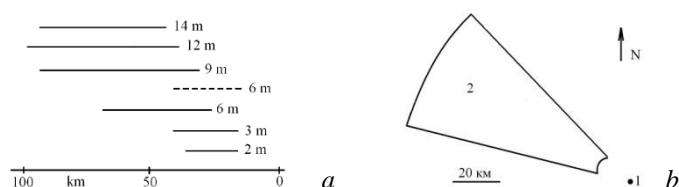


Рис. 3. Области возможного падения метеорита  
 (а): железный (—) и (б) каменный (— —) метеорит указанных размеров при азимуте  $295^\circ$ . Отсчет ведется от эпицентра взрыва. Для железного метеорита крупнее 14 м и мельче 2 м, а также при азимуте больше  $320^\circ$  решений нет; (б): 1 – проекция эпицентра взрыва на землю, 2 - сектор возможного падения железных и каменных метеоритов

Известно, что размер ячейки газовой детонации определяет минимальный размер и скорость быстролетящего тела, способного инициировать детонацию. Для стехиометрической метано-воздушной смеси при скорости тела порядка 1 км/с его размер должен быть не менее 6 м.

Для моделирования картины ожога леса посредством фотодиода измерялась зависимость освещенности горизонтальной поверхности от расстояния и направления. Источником света служил светящийся тор, изготовленный из полупрозрачного кабеля с расположенными внутри лампочками. Получено, что области равной освещенности представляют собой круги со смещенными центрами, что соответствует реальной картине ожога леса.

Как показано в [4], природа серебристых облаков связана с цепным окислением водорода в атмосфере, являющимся источником воды, и флуктуациям температуры на высотах мезопаузы, приводящим к образованию микрочастиц льда, способных отражать свет при заходе Солнца. Вероятность появления серебристых облаков в северном полушарии – явление достаточно частое. Проведенные оценки показали, что усиление яркости серебристых облаков, связанное с Тунгусским взрывом, есть результат повышения концентрации воды в мезосфере, вызванного детонационным сгоранием метана.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Журавлев В. К., Зигель Ф. Ю. Тунгусское диво. – Екатеринбург: Баско, 1998. 168с.
2. Васильев Н. В. Тунгусский метеорит. - Космический феномен лета 1908г. Москва. Русская панорама, 2004. 360с.
3. Николаев Ю. А., Фомин П. А. Тунгусская катастрофа как взрыв метано-воздушного облака, инициированного небольшим медленно летящим металлическим метеоритом // Физика горения и взрыва. 2011. Т. 47, № 2. С. 112-127.
4. Николаев Ю. А., Фомин П. А. О природе серебристых облаков и озонного слоя Земли // Физика горения и взрыва. 1997. Т. 33, № 4. С. 3-13.

© Ю. А. Николаев, П. А. Фомин, 2016