

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

МЕТЕОРИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СИБИРИ

75 лет Тунгусскому феномену

Ответственный редактор
д-р геол.-мин. наук *Ю. А. Долгов*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Новосибирск • 1984

УГЛЕРОД В СОСТАВЕ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

В исследовании природного феномена, получившего название «падение Тунгусского метеорита», выявление состава вещества, а следовательно, физических и химических свойств космического тела, проливающего 30 июня 1908 г. в атмосферу Земли, представляет особый интерес. Любые гипотезы природы Тунгусского метеорита, расчеты его энергии и траектории, обоснования механизмов вызванных им разрушений и биологических эффектов так или иначе, даже если это не оговаривается прямо, предполагают его определенный химический состав. Наиболее полно всем известным сторонам явления отвечает кометная гипотеза. Исходя из нее, В. Г. Фесенков полагал, что в составе Тунгусского метеорита были обильны зерна графита и разнообразны углеводороды [16].

Известным стимулом накопления сведений о веществе Тунгусского метеорита послужила возможность выявления слоя торфа, бывшего в 1908 г. поверхностью моховой дернины и аккумуляировавшего осевшее на нее в твердой или жидкой фазе вещество [13]. Водно-минеральное питание мхов верховых болот обеспечивается исключительно аэрозолями. Существует обширная литература, посвященная поискам, химическому и минералогическому составу и оценкам количества вещества, относимого к Тунгусскому метеориту [2, 4, 6]. Несомненно, в ряду этих сведений внимание привлекает материал по изотопному составу торфов района, в частности составу углерода из слоя 1908 г.

В 1969 г. в районе падения Тунгусского метеорита были отобраны образцы торфа и переданы в космохимическую лабораторию ГЕОХИ АН СССР. Анализы их выполнили в октябре 1973 г. В. А. Алексеев, З. К. Мильникова и И. В. Смирнов под руководством А. К. Лаврухиной. Оказалось, что образец КСМ-109, взятый в 15 км севернее эпицентра вывала леса в долине руч. Малешко с глубины 24—36 см и предположительно включающий слой 1908 г., по радиоуглеродной оценке датируется иначе и имеет возраст 960 ± 60 лет. Другой образец с той же глубины, но полученный в 6 км западнее высоты Кларк (гора Острая), показал возраст 110 ± 60 лет. В. А. Алексеев отмечает, что «образец КСМ-111 показал возраст, согласующийся с ожидаемым, чего нельзя сказать об образце КСМ-109, где получился сильно заниженный возраст. Для получения столь низкого возраста в образец с возрастом около 100 лет должно попасть около 10% «древнего» углерода (с возрастом более 60 000 лет)». Он полагал, что при отборе образца произошла ошибка и в анализ попал слой древнего торфа.

В том же 1973 г. в лаборатории геохронологии ИГиГ СО АН СССР Л. В. Фирсовым, В. А. Панычевым и Л. А. Орловой была проанализирована колонка образцов (СОАН-793 — 797) из Северного

Результаты радиоуглеродного анализа образцов торфа из района падения Тунгусского метеорита

№ образца	Глубина	$\Delta^{14}\text{C}$	Возраст, лет
КСМ-109	24—36	$-11,4 \pm 0,7$	960 ± 60
КСМ-111	24—36	$-1,3 \pm 0,7$	110 ± 60
СОАН-793	30—35	$+5,47$	210 250
СОАН-794	45—50	$+5,47$	
СОАН-795	55—60	$+3,65$	
СОАН-796	60—65	$+0,20$	
СОАН-297	65—70	$-0,20$	
Ки-1094	21—24		130 ± 30
Ки-1095	27—30		500 ± 70
Ки-1096	36—39		3500 ± 100
Ки-1097	42—45		800 ± 40
Ки-1098	48—51		570 ± 30

резался на горизонтальные пласты в 2 см толщиной, которые немедленно упаковывались в полиэтилен. Для верхней слаборазложившейся части монолита по параллельно отобраным образцам был ботаническими методами проверен возраст слоев, по всей колонке произведен спорово-пыльцевой и ботанический анализ. Выявились хорошее согласование со стратиграфией и датировкой торфяников соседних районов и отсутствие каких-либо аномалий в строении пласта торфа, включающего отложения 1908 г.

Радиоуглеродный анализ образцов этой колонки был выполнен в 1979 г. Н. Н. Ковалюхом в радиоуглеродной лаборатории Института геохимии и физики минералов АН УССР. Группа пластов торфа (Ки-1095—1097), включающая слой 1908 г., показала значительное снижение возраста, которое можно объяснить только очень высокой концентрацией «древнего» углерода в месте отбора пробы (см. таблицу). Контрольные образцы из Цветковского торфяника в 60 км от эпицентра у пос. Ванавара никаких аномалий в изотопном составе углерода не показали.

Если отбросить сомнения в правильности отбора и анализа образцов торфа из района Тунгусской катастрофы, то следует признать, что в пределах района имеются пункты осаждения на почву в 1908 г. значительных количеств углерода возрастом более 60 000 лет. Общие границы области осаждения не выходят, видимо, за пределы зон обогащения почв и торфа золой, сферическими частичками, микроэлементами предположительно космического происхождения. Внутренняя структура этой области, несомненно, имеет резкопятнистый характер, т. е. выпадение углеродных соединений происходило крайне неравномерно, отдельными пятнами. Например, образцы КСМ-111

торфяника в 1,5 км северо-восточнее эпицентра взрыва. Оценивая результаты анализа (см. таблицу), Л. В. Фирсов заключил, что в колонке «не выявляется какого-либо „всплеска“ в концентрации ^{14}C , который можно было бы связать в угодую гипотетическим предположением с Тунгусским событием».

Для уточнения сложившейся ситуации в 1977 г. был отобран монолит торфа на всю глубину залежи на мерзлотном бугре торфяника Бублик в 6 км северо-западнее эпицентра за высотой Кларк. Образцы отбирались с большой осторожностью: монолит обрезался со всех сторон для избавления от возможного загрязнения и раз-

и Ки-1094—1098 отбирались на одном и том же торфянике, но только в одной из точек наблюдается высокое содержание «древнего» углерода.

Подобная пятнистость распределения по площади проявляется и в отношении других фракций вещества, относимого к Тунгусскому метеориту. Так, мозаичным оказалось распределение повышенных количеств минеральной компоненты в торфах [14], крайне неравномерно поле распределения сферических частиц [4], большой пестротой отличается ряд физических и биологических эффектов района падения метеорита [3], острая локальность осаждения аэрозолей прослеживается также по материалам спектрального анализа [1].

Некоторые другие материалы прямо или косвенно свидетельствуют в пользу высокого содержания углерода и, соответственно, водорода в теле Тунгусского метеорита. Микроэлементный состав одной из колонок торфа, взятой в 1,5 км северо-восточнее эпицентра у Метеоритной заимки, специалисты оценивают как космохимическую аномалию и предполагают, что если он отражает свойства Тунгусского метеорита, то этот метеорит по составу вещества ближе всего стоит к некоторым классам углистых хондритов [7]. Е. М. Колесников на основании анализа химического состава силикатных шариков из слоя 1908 г. полагает высокое, в концентрациях, свойственных ядрам комет, содержание в теле Тунгусского метеорита летучих и сильнолетучих компонентов [11]. Наконец, Н. Н. Ковалюх в пробе торфа из торфяника Хой в 4 км севернее эпицентра обнаружил углистые сростки с алмазами класса лонсдейлитов, находимых в метеоритах — уреилитах [15].

Представление о Тунгусском метеорите как о космическом теле, в состав которого входили графитные частички и углеводородные соединения, не противоречит современным сведениям о составе метеорных тел и комет. Вопрос стоит о доле углерода в составе Тунгусского метеорита. Дело в том, что пробы из торфяника Бублик (Ки-1095—1097) показали очень большое содержание «древнего» углерода, приближающееся к 40% массы углерода растительных остатков, в то время как масса минеральных частичек предположительно космического происхождения, выявленных на тех же площадях отбора, мала [2]. Это обстоятельство позволяет предположить, что в составе Тунгусского тела содержание углеводородных соединений по отношению к малолетучим компонентам было очень высоким.

Из выявления аэрозольного, точнее, космического углерода в торфах района падения вытекает несколько следствий.

1. Механическое и химическое разрушение Тунгусского метеорита могло начаться в более высоких слоях атмосферы, чем это свойственно железным и каменным метеоритам, причем по мере падения мог значительно увеличиваться объем газопылевого кома при одновременной потере массы.

2. Разрушение метеорита или какой-то его части происходило при сравнительно низких температурах, что позволило некоторым углистым частичкам, возгорающимся при температуре 400—500°C, благополучно преодолеть температурный барьер и осесть на поверхность почвы.

3. В одной из зон разрушающегося тела давление и температура были близки к условиям получения искусственных лонсдейлитов [5], где давление создавалось ударной волной.

4. В общей энергии, выделившейся при разрушении метеорита, наряду с кинетической энергией определенную часть составляла химическая энергия горения, и доля этой энергии должна быть тем больше, чем выше содержание углистого вещества в теле метеорита.

Очевидцы пролета и разрушения Тунгусского метеорита единодушно указывают, что у болида не было дымного хвоста, после него по небу расходились прозрачные радужные полосы. Небесное тело горело, разбрасывая искры, от него отделялись огненные части, также не дававшие дымных следов. Огненные струи в хвостовой части болида позволили сравнивать его со снопом, летящим торцом вперед, или со стрелой с огненным оперением и круглым наконечником. В конце траектории длина горящего потока была так велика, что он широкой полосой прорезал значительную часть небосвода («небо раскрылось», а спустя некоторое время снова «закрылось»).

Полное разрушение болида не сопровождалось образованием огненного всплывающего шара, как это наблюдается при воздушных ядерных взрывах. Этот момент очевидцы видели иначе: «взметнулось пламя... затем показался дым, который поднялся выше пламени и быстро исчез» [12, с. 31], затем «в том месте небо стало красным, как бывает красной заря, и эта краснота... ушла на запад» [10, с. 38]. В пределах области разрушения, по словам очевидцев, «горел воздух», тем не менее некоторые чумы и лабазы были разрушены воздушной волной, но не сгорели.

Из сведений очевидцев можно заключить, что в процессе пролета происходило изменение формы (удлинение) Тунгусского болида, в описаниях есть указания на отделение мелких частей, сообщается о множественности следовавших друг за другом в течение нескольких десятков секунд звуков взрывов. Можно предполагать, что распад тела начался еще в верхних слоях атмосферы и наряду с центральным взрывом основной массы космического тела были также дополнительные взрывы более мелких частей, следовавших в створе траектории головной части. Эти дополнительные взрывы должны найти отражение во внутренней структуре поля разрушений и поля распределения остатков вещества метеорита. Сопоставление локальных отклонений вывала деревьев, пятен обогащения торфа золой и сферическими частичками, мест аномалий элементного и изотопного состава торфов и почв, зон ожоговых поражений ветвей и стволов деревьев может дать весьма полезные сведения о всех сторонах Тунгусского события.

Можно полагать, что благодаря бурному горению и абляции поверхности болида внутренние его зоны не успели прогреться до высоких температур. При финальной пульверизации болида горение должно было происходить на периферии газопылевого кома, а внутри кома даже нагретые частички могли метаморфизоваться не сгорая, пока не оказывались при своем разлете в периферийной, богатой кислородом зоне. Исходя из размеров площади ожоговых по-

ражений деревьев в районе падения метеорита, следует допустить, что расширяющийся горящий ком достиг поверхности Земли и горение газоугольной смеси происходило непосредственно в толще биогеоценотической оболочки.

Растительность и поверхность почвы в этой области должны были испытать различные поражающие воздействия в следующей последовательности: 1) лучистый ожог ветвей от высвечивания тела за счет баллистической волны и горения; 2) вывал леса ударной волной; 3) ожог разрушенного растительного покрова газопылевой смесью; 4) кислородный дефицит и снижение атмосферного давления в области пылевого кома, в месте соприкосновения его с поверхностью Земли; 5) центростремительные приземные потоки воздуха от периферии зоны ожога к ее центру, вызвавшие ориентацию пожарных подсушин на комлях живых деревьев в центре области разрушения; 6) тление и горение растительного опада во всей области ожога; 7) образование вторичных очагов лесного пожара.

С этих позиций внимательный анализ следов ожога деревьев в разных частях района катастрофы приобретает принципиальное значение. Опыт исследования поражений ветвей и стволов деревьев позволяет дифференцировать различные типы ожога [8, 9, 17] и оценить распространения того или другого его типа. Повреждения, вызванные разными источниками, различаются местоположением в кронах и на стволах живых и вываленных деревьев, ориентацией пожарных подсушин на источник ожога, расположением на живых ветвях и на сломках и т. д.

Представление о высоком содержании в теле Тунгусского метеорита углерода и углеводородов позволяет снять многие противоречия, накопившиеся к настоящему времени. Находит объяснение сочетание большой массы космического тела, рассчитанной по его энергии, взятой в кинетической форме, с небольшой массой выявленного в районе падения мелкодисперсного вещества [2]. Подтверждается достоверность показаний очевидцев пролета и взрыва метеорита. По-новому может быть оценена форма вывала леса, ее внутренняя структура и другие параметры. Несомненно, материалы по элементарному составу Тунгусского метеорита, в том числе и по составу его углеродного компонента, требуют уточнений и дополнений. Но уже имеющиеся сведения, на наш взгляд, заставляют обратить на них серьезное внимание, и любые оценки фактических данных, расчеты и логические построения без учета этих обстоятельств приобретают абстрактное значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева К. Н., Смирнова А. В., Васильев Н. В. и др. Спектральный анализ торфа из района падения Тунгусского метеорита. — В кн.: Космическое вещество на Земле. Новосибирск: Наука, 1976, с. 19—24.
2. Бояркина А. П., Васильев Н. В., Меньяцева Т. А. и др. К оценке вещества Тунгусского метеорита в районе эпицентра взрыва. — В кн.: Космическое вещество на Земле. Новосибирск: Наука, 1976, с. 8—15.
3. Васильев Н. В., Журавлев В. К., Демин Д. В. и др. О некоторых аномаль-

- ных эффектах, связанных с падением Тунгусского метеорита.— В кн.: Космическое вещество на Земле. Новосибирск: Наука, 1976, с. 71—87.
4. Васильев Н. В., Львов Ю. А., Вронский Б. П. и др. Поиски мелкодисперсного вещества в торфах района падения Тунгусского метеорита.— Метеоритика, 1973, вып. 32, с. 141—146.
 5. Вдовыкин Г. П. Алмазы в метеоритах. М.: Наука, 1970. 125 с.
 6. Выпадение космического вещества на поверхность Земли/Иванова Г. М., Львов Ю. А., Васильев Н. В., Антонов И. В. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976. 120 с.
 7. Голенецкий С. П., Степанок В. В., Колесников Е. М. Признаки космохимической аномалии в районе Тунгусской катастрофы 1908 г.— Геохимия, 1977, № 11, с. 1635—1645.
 8. Зенкин Г. М., Ильин А. Г. О лучевом ожоге деревьев в районе взрыва Тунгусского метеорита.— Метеоритика, 1964, вып. 24, с. 129—140.
 9. Зенкин Г. М., Ильин А. Г., Егоришин А. П. и др. Характеристика деревьев, переживших Тунгусскую катастрофу в ее эпицентре.— В кн.: Проблема Тунгусского метеорита. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1963, с. 84—87.
 10. Иванова Г. М., Львов Ю. А., Ковалевский А. Ф. Новые опросные данные о падении Тунгусского метеорита, полученные в 1964 г.— В кн.: Проблема Тунгусского метеорита. Вып. 2. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967, с. 36—39.
 11. Колесников Е. М. О некоторых вероятных особенностях химического состава Тунгусского космического тела.— В кн.: Взаимодействие метеоритного вещества с Землей. Новосибирск: Наука, 1980, с. 87—102.
 12. Коненкин В. Г. Сообщения очевидцев о Тунгусском метеорите 1908 года.— В кн.: Проблема Тунгусского метеорита. Вып. 2. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967, с. 31—35.
 13. Львов Ю. А. О нахождении космического вещества в торфе.— В кн.: Проблема Тунгусского метеорита. Вып. 2. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967, с. 140—144.
 14. Львов Ю. А., Васильев Н. В., Ваулин П. П. и др. Зола в слое торфа 1908 года.— В кн.: Вопросы метеоритики. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976, с. 94—98.
 15. Соболев Э. В., Квасница В. Н., Ковалюх Н. Н. Новое свидетельство вещественности Тунгусского тела.— В кн.: Метеоритные и метеорные исследования. Новосибирск: Наука, 1983, с. 138—141.
 16. Фесенков В. Г. О природе комет и Тунгусском явлении.— Астроном. вестник, 1969, т. 3, вып. 4, с. 211—213.
 17. Фураев В. В. Лесные пожары в районе падения Тунгусского метеорита и их влияние на формирование лесов.— В кн.: Проблемы метеоритики. Новосибирск: Наука, 1975, с. 72—87.

В. Д. Несветаило

ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКОЕ ДАТИРОВАНИЕ «СТОЯКОВ» РАЙОНА ПАДЕНИЯ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Деревья района падения Тунгусского метеорита, как пережившие 1908 г., так и погибшие во время взрыва, до сих пор являются одним из наиболее надежных свидетельств катастрофы. Изучение термических повреждений деревьев дает информацию о лучистой энергии взрыва [2, 9] и лесном пожаре, подтверждающем сам факт выделения лучистой энергии [7, 13]. Величина прироста деревьев