

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ ИМ. 60-ЛЕТИЯ
СОЮЗА ССР
КОМИССИЯ ПО МЕТЕОРИТАМ
И КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТЕОРИТИКИ В СИБИРИ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Ответственный редактор
доктор геолого-минералогических наук
Ю. А. Долгов



НОВОСИБИРСК
«НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1988

Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск:
Наука. Сиб. отд-ние, 1988.— 252 с.

ISBN 5—02—028786—5.

В сборнике приводится сводка наблюдений электрофонных болидов за 300 лет, выполненная по литературным и архивным материалам, описываются крупные болиды последних лет, отмечена корреляция болидной активности и величины геомагнитного поля. Также включены в сборник результаты многоплановых исследований последних лет по проблеме Тунгусского метеорита. Серия статей посвящена тектитам Вьетнама и астроблемы Жаманшин.

Книга рассчитана на астрономов, космохимиков, специалистов по геологии астроблем и для всех, кто интересуется проблемой Тунгусского метеорита.

Редакционная коллегия

академик АМН СССР Н. В. Васильев,
доктор геолого-минералогических наук Ю. А. Долгов,
кандидат физико-математических наук В. К. Журавлев, Г. М. Иванова

Рецензенты

кандидат геолого-минералогических наук *И. Т. Бакуменко*,
кандидат физико-математических наук *Р. Г. Лазарев*

Утверждено к печати

Институтом геологии и геофизики
им. 60-летия Союза ССР СО АН СССР

А $\frac{1705050000-854}{042(02)-88}$ 146—88—III

© Издательство «Наука», 1988

ISBN 5—02—028786—5

**ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ
ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА
(1980—1985 гг.)***

Истекшее пятилетие отмечено повышенным научным интересом к проблеме Тунгусского метеорита в СССР и за рубежом. Это связано с быстрым развитием направлений астрономии, изучающих эволюцию планетных систем, формированием в этих областях новых подходов и сменой традиционных парадигм. Становится очевидным, что ключ к пониманию многих космогенных процессов следует искать в эволюции малых тел Солнечной системы, в том числе астероидов и комет. В связи с этим вопрос о природе Тунгусского метеорита органически входит в комплекс фундаментальных проблем, разработка которых расширяет представления о космосе.

На наш взгляд, четыре обстоятельства способствовали развитию такой точки зрения на проблему Тунгусского метеорита. Первое из них — это признание выдающейся роли космических катастроф в истории Земли и ее биосферы. Это вытекает из данных сравнительной планетологии (следы метеоритных бомбардировок планет земной группы), развития учения об астроблемах и установления периодичности в палеонтологической летописи Земли. Регулярные флуктуации в интенсивной кометной «бомбардировке» Земли позволили предположить наличие у Солнца звездного сателлита, периодически проходящего через облако Оорта и смещающего кометные орбиты. Подтверждение этой концепции может привести к коренной ревизии существующих представлений о Солнечной системе. Учитывая, что Тунгусский феномен представляет собой единственную в своем роде космическую катастрофу, происшедшую в историческое время, исследование его имеет для верификации катастроф первостепенное значение.

Второе — это формирование концепции о широком распространении во Вселенной добиогенной органики («космического планктона»), генезис которой связан с генезисом кометного вещества. Положительное решение вопроса о существовании в межпланетном и га-

* Первая часть обзора (1958—1969 гг.) помещена в сборнике «Метеоритные исследования в Сибири» (Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984), вторая (1970—1980 гг.) — в сборнике «Космическое вещество и Земля» (Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986).

лактическом пространстве высокомолекулярных органических соединений послужило предпосылкой для пересмотра представлений об эволюции предбиогенных форм материи [74]. Накапливаются сведения о роли комет как источников добиогенной органики, о значении вноса кометного вещества в возникновение жизни на Земле и в дальнейшем развитии ее биосферы [39, 41]. Поставлен вопрос о возможности существования в открытом космосе жизнеспособных высокоорганизованных структур, что означает, по существу, возрождение панспермистских концепций [110].

В свете сказанного проблема Тунгусского метеорита приобретает новое звучание, так как не исключено, что разработка ее представляет уникальную возможность изучения состава добиогенной органики космического происхождения и локальных последствий ее контактов с современной биосферой.

Третье — это существенное расширение знаний о физике метеорных явлений, которая оказалась сложнее, чем считали 20—30 лет назад. Высказаны предположения о наличии класса метеоров, представляющих собой сгустки солнечной плазмы [57], доказана реальность электрофонных болидов [111], сделаны первые шаги в развитии метеорной электродинамики [92].

Наконец, сущность четвертого обстоятельства состоит в том, что исследование Тунгусского метеорита (в том числе решение задачи о механизме действия его ударной волны, о связанных с ним геофизических, биологических эффектах) оказались высокозначимыми для развития смежных дисциплин — геофизики, физики взрыва, популяционной генетики, охраны природы [7, 17, 41, 68].

Перечисленные выше обстоятельства определили изменение методологических подходов к изучению проблемы Тунгусского метеорита, который в последнее пятилетие все чаще рассматривается как явление не столько локальное, сколько глобальное [18, 20, 57, 93, 109, 116, 118, 119].

Как и ранее, в течение последнего пятилетия основными в изучении Тунгусского феномена были следующие направления:

- 1) физика пролета и разрушения Тунгусского космического тела (ТКТ);
- 2) поиски его вещества;
- 3) геофизические и биологические последствия Тунгусской катастрофы;
- 4) теоретические объяснения Тунгусского феномена либо частично, либо в целом.

Работы выполнялись с использованием полевых и камеральных методов, а также математического моделирования. Полевые исследования района Тунгусской катастрофы велись преимущественно силами комплексной самостоятельной экспедиции (КСЭ), действующей под эгидой Комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР, Томского университета и Томского отделения Всесоюзного астрономо-геодезического общества. Общую координацию исследований осуществлял Комитет по метеоритам АН СССР. В выполнении полевых, камеральных и расчетных работ принимали уча-

стие научные сотрудники академических и отраслевых учреждений, вузовских научных подразделений Москвы, Ленинграда, Киева, Новосибирска и других городов Советского Союза. Основные итоги этих исследований обобщены в тематических сборниках, вышедших в Сибирском отделении издательства «Наука» (Новосибирск) [34, 76, 77 и др.].

Учитывая большой объем информации, собранной после 1958 г., значительное внимание было уделено созданию каталогов, включающих в себя все данные по Тунгусской проблеме. За период 1980—1985 гг. были опубликованы два таких каталога: один из них представляет собой полную сводку показаний очевидцев Тунгусской катастрофы и сопредельных по времени болидов [28], второй [97] является продолжением каталога разрушений, вызванных взрывной волной Тунгусского метеорита [96]. Подготовлен к публикации третий каталог, посвященный результатам поисков сферических оплавленных частиц («сферул», или «шариков»), выявленных в торфе верховых болот района Тунгусского падения. Создание этих сводок явилось серьезной вехой в изучении Тунгусского феномена, так как они позволили проанализировать большой фактический материал. Особенно важно было рассмотреть показания очевидцев, разноречивость которых приводит к их субъективному толкованию.

Работы по изучению физики пролета и разрушения Тунгусского метеорита могут быть, в свою очередь, условно подразделены на четыре группы: 1) посвященные явлениям, происходившим во время пролета Тунгусского космического тела в атмосфере Земли (физика Тунгусского взрыва); 2) анализирующие сам момент разрушения ТКТ (физика Тунгусского взрыва в узком смысле слова); 3) описывающие ближайшие последствия Тунгусского взрыва; 4) характеризующие отдаленные последствия Тунгусской катастрофы.

К первой группе относятся прежде всего исследования, посвященные анализу показаний очевидцев пролета и взрыва Тунгусского метеорита [18, 36, 51, 57]. Основные их итоги таковы. Во-первых, подтверждено предположение о том, что наиболее достоверные, собранные по свежим следам свидетельства очевидцев с р. Ангары согласуются с траекторией, предложенной Е. Л. Криновым в 1949 г. [69], но не соответствуют более позднему, считавшемуся общепризнанным на протяжении 60—80-х годов варианту траектории [94, 96], проведенный вдоль оси симметрии вывала леса, произведенного взрывной волной Тунгусского метеорита. Это позволяет предполагать изменение направления полета тела на последнем этапе его существования.

Во-вторых, показано, что лето 1908 г., как и считали ранее [83], было богаче яркими и крупными болидами, чем предшествующий и последующий годы. Так как опросы очевидцев в основном проводились 20—30 и более лет спустя, вполне вероятно, что в памяти свидетелей события, разнесенные во времени на недели и даже месяцы, могли слиться воедино. Именно этим и следует объяснить так называемую «полиmodalность» явления, о которой много говорится в литературе последних лет [52]. В частности, имеются основания пола-

гать, что так называемая «восточная» группа показаний свидетелей Тунгусского падения, собранных в поселках по верхнему течению р. Нижней Тунгуски, относится к дневному болиду, близкому, но не обязательно синхронному Тунгусскому метеориту.

Вторая группа публикаций представлена большой серией расчетных работ, авторы которых предлагали и обосновывали различные варианты возможных механизмов разрушения Тунгусского метеорита. К ним относится прежде всего цикл работ В. П. Коробейникова с соавторами [67, 68], представляющий собой продолжение на более высоком уровне работ 70-х годов. В результате численного моделирования взаимодействия космических тел с атмосферой Земли ими разработаны модели и проведены расчеты движения в атмосфере Земли тел малой плотности. Найдены доли высвечиваемой энергии и эффективное время высвечивания, определен тепловой эффект на поверхности Земли, выполнены траекторные расчеты для крупных космических тел, обладающих аэродинамическим качеством, определены физические параметры Тунгусского метеорита. Установлены два очень важных для интерпретации Тунгусской катастрофы обстоятельства:

1) доли световой энергии, выделяемой при взрывоподобном разрушении в атмосфере Земли крупных метеорных тел, может приближаться к величине, характеризующей ядерные взрывы, т. е. для объяснения высокой (измеряемой процентами) доли лучистой энергии Тунгусского взрыва совершенно необязательно привлечение представлений о его ядерной природе;

2) при наличии некоторого аэродинамического качества Тунгусский метеорит мог совершить на последнем этапе своего существования полет по весьма крутой (35° и более) и сложной траектории, включающей в себя клевок, мертвые петли и рикошетирующие. С этих позиций стали объяснимыми некоторые детали структуры поля векторов повала деревьев, вызванного взрывной волной Тунгусского метеорита, в частности наличие так называемых «передних осесимметричных отклонений от строгой радиальности», которые могут быть интерпретированы как след баллистической волны части Тунгусского метеорита, уцелевшей после разрушения основной его массы под эпицентром [95].

Б. Ю. Левин, В. А. Бронштэн продолжали развивать гипотезу о механизме Тунгусского взрыва, основываясь на предположении о разрушении в атмосфере Земли ледяного тела с удельной плотностью порядка 1 г/см^3 , двигавшегося по траектории с углом $5-40^\circ$ [73] с предпочтением малым значениям наклона. Учитывая доказанную В. П. Коробейниковым с соавторами вероятность изменения угла наклона траектории Тунгусского метеорита на последнем этапе его существования, представляется возможным совмещение обоих подходов, особенно при допущении клевка метеорита непосредственно перед взрывом.

Принципиальное значение для понимания механизма Тунгусского взрыва имеет вопрос о плотности взорвавшегося тела. Большинство исследователей склоняется к идее о его рыхлом строении,

что соответствует современным представлениям о структуре кометных ядер. Крайние в этом плане оценки [85, 119] и модели, основанные на допущении столь низких значений плотности, подвергнуты серьезной критике в ряде советских и зарубежных работ [48, 118] и, судя по всему, очень далеки от реальной действительности [38, 49].

Низкая исходная плотность Тунгусского тела постулируется и в работе [38], автор которой близок к концепции о Тунгусском метеорите как о пылевом облаке, развивавшейся Г. Ф. Плехановым с соавторами [86] в начале 60-х годов и восходящей к публикациям В. И. Вернадского [33]. В ней изложены результаты измерений поля импульсов пиковых давлений в ударной волне, образующейся быстролетящим пылевым облаком, и на модельных экспериментах показана возможность образования центрально-симметричной волны при поступательном движении такого облака в атмосфере. Слабым местом этой гипотезы является отсутствие строгих доказательств возможности устойчивого существования подобных космических объектов.

Наряду с работами, связанными с представлением о быстром торможении в атмосфере Земли космического тела небольшой или весьма низкой плотности, в литературе последних лет повысился удельный вес публикаций, в основу которых положены посылки принципиально иного характера. Их можно, в свою очередь, разделить на две категории. Первая ориентирована на допущение об относительно высокой плотности Тунгусского метеорита, вторая же, напротив, снижает ее еще больше, исходя из предположения о плазменной природе ТКТ. К первой относится прежде всего уже упоминавшаяся работа З. Секанины [118] относящего Тунгусский метеорит к астероидам группы Аполлон. Впервые идея о совместимости надземного взрыва с представлением об астероидальной природе ТКТ была высказана Д. Ф. Анфиногеновым в 1966 г. [3]. Из предположения высокой плотности Тунгусского метеорита исходит и М. М. Мартынюк [75], интерпретирующий Тунгусскую катастрофу как фазовый взрыв стекловидного космического тела с массой в $(5-8) \cdot 10^6$ т, обладавшего большой вязкостью.

Идея о плазменной природе Тунгусского метеорита развита в работах [51, 52, 57], авторы которых попытались преодолеть накопившиеся противоречия на основе нетрадиционного подхода к природе ТКТ. Речь идет о введении понятия плазмоидов — устойчивых сгустков солнечной плазмы, стабилизированных межпланетным магнитным полем и способных при попадании в атмосферу планет генерировать метеорные явления и даже взрывы. Возможность стабильного существования энергофоров проблематична, равно как и предлагаемый авторами [52] механизм взрыва энергофора, не говоря уже о постулируемой связи между космическими грозами и наличием в районе Тунгусского падения магнитной аномалии, квалифицируемой как третий магнитный полюс Земли. Но каким бы ни было отношение к гипотезе энергофора, само ее возникновение свидетельствует о повышенном интересе исследователей к электрическим и элект-

ромагнитным аспектам метеорных явлений вообще и Тунгусского феномена в частности. Это следует и из работы [92], автор которой приходит к выводу о крупном вкладе электрических явлений в физику Тунгусского взрыва, что соответствует представлению о Тунгусском метеорите как об электрофонном болиде [5].

Обзор вышедших за последние годы публикаций, посвященных физике Тунгусского взрыва, был бы неполон без упоминания статьи С. П. Голенецкого с соавторами [44], на протяжении ряда лет развивавших представление о мультицентричности Тунгусского взрыва. Речь идет о том, что глыбы кометных льдов, являвшиеся фрагментами распавшегося в результате основного взрыва ядра кометы, глубоко проникли в плотные слои атмосферы Земли до небольшой высоты, формируя тем самым мозаичную структуру выпадения космического материала.

При всем различии подходов объединяет перечисленные выше работы допущение о совпадении оси симметрии вывала леса, вызванного Тунгусским метсоритом, с проекцией его траектории. Между тем, как уже указывалось ранее, показания очевидцев, собранные на Ангаре, свидетельствуют скорее в пользу траектории, предложенной Е. Л. Криновым [69]. Противоречия такого рода нельзя считать присущими только Тунгусскому метеориту: траектория Сихотэ-Алинского метеорита, вычисленная на основании показаний очевидцев, имеет азимут 20° и угол наклона к горизонту 38° , а структура кратерного поля свидетельствует о том, что ее азимут составляет $4-5^\circ$, а угол наклона 60° [98, с. 57]. Снятие этих противоречий возможно на основе допущения об изменении азимута и угла наклона траектории на последнем ее этапе. Нельзя забывать, однако, о том, что исходная посылка относительно совпадения проекции траектории и оси симметрии вывала является все же допущением, хотя и высоковероятным. Поэтому представляется целесообразной попытка построения моделей Тунгусского взрыва, свободных от указанного выше ограничения. Такая модель представлена в [105, 106]; ее авторы развивают выдвинутое ранее [86] предположение о Тунгусской катастрофе как о результате взрыва облака космогенной газопылевой смеси, идентичного по своему механизму объемным взрывам. Его соотношение с интересующей нас частной задачей неоднозначно: налицо целый спектр моделей Тунгусского взрыва, которые, не являясь абсурдными, а priori не равновероятны. Охватывая широкий диапазон предполагаемых плотностей Тунгусского космического тела (от $0,001$ до 5 г/см^3), они включают в себя по существу все категории тел Солнечной системы (допущение о существовании гипотетических плазмондов не упрощает, а лишь усугубляет создающуюся ситуацию). Тем не менее выбор между ними хотя и непросто, но возможен. Осуществление его реально на двух уровнях: в рамках чисто баллистических критериев и категорий вообще и на уровне сопоставления баллистики конкретного — Тунгусского — взрыва с другими параметрами и обстоятельствами катастрофы.

Важно при этом определить наиболее вероятные значения плотности тела, так как именно данный критерий является одним

из главных для выяснения принадлежности объекта к той или иной категории малых тел Солнечной системы.

Таким образом, все описанные гипотезы о физическом механизме Тунгусского взрыва можно разделить на три группы: 1) версии, в основу которых положено представление о высокой (от 1 до 5 г/см³) плотности тела; 2) гипотезы, исходящие из того, что плотность ТКТ была средней (~ 1 г/см³); 3) гипотезы, постулирующие сверхнизкую плотность Тунгусского метеорита (0,01—0,001 г/см³).

К первой группе относится прежде всего сформулированная Д. Ф. Анфиногеновым [3] гипотеза о быстром испарении в атмосфере Земли крупного железного метеорита. Концепция эта изложена, к сожалению, лишь в тезисной форме. Она получила положительную оценку на Всесоюзной метеоритной конференции 1966 г. в г. Новосибирске и удовлетворительным образом объясняет основные моменты баллистики Тунгусского взрыва. Отдавая ей должное, отметим, однако, что данная гипотеза предполагает формирование в момент разрушения метеорита облака, содержащего несколько десятков тысяч тонн железоникелевого космического аэрозоля, которое, согласно расчетам [100], должно было бы образовать шлейф рассеяния в непосредственной близости от эпицентра; число микросферул, оседавших при этом на 1 м² поверхности, должно было бы измеряться десятками и сотнями тысяч единиц. Между тем данные космической съемки почв [27] и торфа [9] этого не подтверждают. Следовательно, указанная модель, отвечая критериям первого уровня, не проходит на втором.

Ко второй группе гипотез относятся в первую очередь модели В. П. Коробейникова и В. А. Бронштэна [7, 67], рассматривающие Тунгусский взрыв как результат разрушения в атмосфере Земли ледяного ядра кометы, и модель М. М. Мартынюка [75], основанная на представлении о фазовом взрыве силикатного тела.

Серьезные расхождения между подходами В. П. Коробейникова и В. А. Бронштэна утратили свою остроту, так как В. А. Бронштэн признал возможность изменения угла наклона траектории ТКТ в сторону больших значений на последнем этапе его существования (допущение клевка). В настоящее время на основании экспериментов И. Т. Зоткина и М. А. Цикулина [60] и математического моделирования взаимодействия взрывной и баллистической волн [7, 66—68, 112] можно считать доказанным, что взаимодействие сферической (взрывной) и квазицилиндрической (баллистической) волн хорошо объясняет форму и характер вывала леса. Создается впечатление, что наиболее полно Тунгусская катастрофа объясняется быстрым разрушением при входе в атмосферу Земли космического тела массой 10⁶ т удельной плотностью порядка 1 г/см³, двигавшегося, скорее всего, по траектории с большим (более 30°) углом наклона. Существенную роль в разрушении Тунгусского космического тела и в формировании системы ударных волн сыграло его прогрессивное дробление. Эта идея, высказанная впервые М. А. Цикулиным [103, 104], поддержанная затем К. П. Флоренским с соавторами [101] и рассмотренная в качественной форме Г. И. Покровским [88], количест-

венно обоснована в последнее время С. С. Григоряном [48, 49]. Показано, что для очень крупных метеорных тел интенсивность уноса массы за счет дробления намного больше, чем за счет испарения и плавления [48]. Разрушение тела [49] происходит по сколовому механизму, так как внутри метеорита действуют главным образом сжимающие напряжения, созданные перепадом давления на лобовой и тыльной поверхностях тела. Когда давление на лобовой поверхности достигает разрушающего значения, по телу перемещается фронт разрушения, причем процесс состоит в практически мгновенном испарении малых осколков, что эквивалентно сильному взрыву с выделением большой энергии. В. А. Бронштэн [11] распространил эту теорию на случай одновременного протекания испарения и дробления. Следует, видимо, согласиться с мнением Б. Ю. Левина и В. А. Бронштэна [73] о том, что теория С. С. Григоряна не только наиболее полно объясняет взрыв Тунгусского метеорита, но и связывает между собой это уникальное явление и относительно часто наблюдаемые концевые вспышки у ярких метеоров и болидов.

Этот аспект рассмотрен в [73]. Нельзя не согласиться с авторами этой работы в том, что изучение физики Тунгусского метеорита зависит от решения более общих вопросов метеорной астрономии. Обстоятельства Тунгусского взрыва получили, в частности, новое освещение в результате работы Европейской и Прерийной болидных сетей и изучения Томского болида 26 февраля 1984 г. Крупным успехом является установление глубокой аналогии между взрывом Тунгусского метеорита и концевыми взрывами некоторых метеоров, о чем свидетельствуют собранные в [73] сведения о болидах, наблюдавшихся Прерийной и Европейской сетями.

Добавим, что концепция о разрушении в атмосфере Земли ледяного тела плотностью 1 г/см^3 согласуется с современными представлениями о веществе Тунгусского метеорита, а точнее, с отсутствием в районе Тунгусской катастрофы значительных надфоновых количеств тугоплавкого космического материала [22] и с натурными данными о границах лучистого ожога растительности, вызванного Тунгусским взрывом [30].

Концепция М. М. Мартынюка [75] о фазовом взрыве стекловидного силикатного тела развита менее детально. Даже оставляя в стороне вопрос о соответствии критериям первого уровня, следует отметить трудности, с которыми она сталкивается при выходе на второй уровень верификации. Ситуация здесь аналогична сложившейся вокруг гипотезы Д. Ф. Анфиногенова: фазовый взрыв также должен был привести к формированию огромного облака тугоплавкого аэрозоля (не только железоникелевого, но и силикатного), что противоречит результатам наземной космохимической съемки в районе катастрофы.

Что касается третьей группы гипотез, то она представлена в СССР работами Г. И. Петрова и В. П. Стулова [85], а за рубежом — Р. Турко с соавторами [119]. Как уже говорилось, эта группа гипотез в последнее время серьезно критиковалась [48, 49, 73, 118], причем наиболее убедительные контраргументы были приведены

С. С. Григоряном [48], В. А. Бронштэном и К. П. Станюковичем [12]. Концепция исключительно низкой плотности Тунгусского метеорита оказывается уязвимой и с чисто астрономических позиций, так как тело столь низкой плотности должно подвергаться быстрой эрозии под действием солнечной радиации и будет неустойчивым по отношению как к гравитационным приливным, так и к центробежным силам. Кроме того, науке неизвестны твердые тела с плотностями $0,01 \text{ г/см}^3$ и менее (плотность свежевыпавшего снега составляет $0,07 \text{ г/см}^3$ [73]).

Работы, характеризующие непосредственные последствия Тунгусского взрыва, могут быть, в свою очередь, подразделены на исследования: 1) посвященные анализу сейсмического, барического и магнитологического эффектов Тунгусского взрыва; 2) характеризующие баланс его энергии, в частности лучистую вспышку, возникшую в момент катастрофы; 3) освещающие вопрос относительно механизма возникновения лесного пожара, связанного с падением Тунгусского метеорита.

Первая группа представлена работой И. П. Пасечника [84], в которой уточнен момент Тунгусского взрыва. Если до сих пор считалось общепринятым, что геомагнитный эффект связан с приходом ударной волны Тунгусского метеорита в ионосферу, то после работы [84] возникает необходимость поисков альтернативных моделей. Однако в качестве последних вряд ли могут быть приняты варианты, предложенные в [52] и [58]: идея о ядерной природе Тунгусского взрыва натолкнулась на большие трудности и в последние годы далее не разрабатывалась. Что же касается плазмодной природы Тунгусского метеорита, то она представляется проблематичной.

Ко второй группе публикаций относится уже упоминавшаяся работа В. П. Коробейникова с соавторами [68], в которой показано, что взрывоподобное разрушение крупных метеорных тел сопровождается выходом световой энергии, соизмеримым с наблюдаемым при ядерных взрывах. Совпадение границ расчетной зоны лучистого воздействия с границами области лентовидных повреждений ветвей деревьев, переживших Тунгусскую катастрофу, является сильным аргументом в пользу ожоговой природы последних [30].

Данные о пожаре, вызванном Тунгусским взрывом, содержат, судя по всему, в неявной форме большую информацию о физике Тунгусского взрыва. На его необычный характер указывали еще Л. А. Кулик [70] и Е. Л. Кринов [69], тем не менее работы по изучению границ лесного пожара 1908 г. и механизма его возникновения [71, 102] не дали ответа на два принципиальных вопроса: в чем непосредственная причина возгорания и каковы границы первичной зоны воспламенения?

Решению этих вопросов были посвящены полевые экспедиции в район падения Тунгусского метеорита в последнее пятилетие. В результате работ, проведенных под руководством Н. Абрамова и И. Дорошина, выяснилось, что в первом приближении границы зоны лесного пожара и предположительно первичного воспламене-

пия производят в миниатюре контур «бабочки» вывала, вписываясь в последний. На основании предложенной Н. Абрамовым методики дифференциации первичных и вторичных огневых повреждений высказано предположение о близком совпадении зон лесного пожара 1908 г. и первичного воспламенения. Вывод этот носит более чем серьезный характер, подтверждение его может создать дополнительные сложности интерпретации физики Тунгусского взрыва в целом, ибо, связывая механизм первичного воспламенения с движением фронта ударной волны, трудно объяснить быстрое падение его температуры до величин, заведомо недостаточных для зажигания даже самых легковоспламеняющихся лесных материалов (бересты, мха, лишайников и др.) [72]. Есть основания полагать, что натурная картина возникновения катастрофического лесного пожара соответствует в наибольшей степени модели объемного взрыва, предложенной в [106], однако для окончательного вывода потребуется еще 2—3 полевых сезона.

Таким образом, акцент в работах по изучению ближайших последствий Тунгусского взрыва сместился в последнее пятилетие на изучение круга вопросов, связанных с его термическим действием. В ближайшие два-три года следует, очевидно, ожидать расширения механизма лесного пожара 1908 г., так как данный пласт работ по своей информативности имеет, видимо, для судьбы проблемы не меньшее значение, чем работы по вывалу леса.

В целом работы по физике Тунгусского взрыва за последнее пятилетие подтверждают высказанное нами ранее [17] мнение о том, что решение данной проблемы на путях одного лишь анализа физической картины невозможно, ибо при большом масштабе взрыва картина порождаемых им разрушений становится в известной мере инвариантной по отношению к причине, ее обусловившей. Решающее слово в проблеме Тунгусского метеорита принадлежит, судя по всему, поискам и анализу вещества, входившего в его состав.

К 1980 г. в районе падения Тунгусского метеорита был выявлен ряд связанных с выпадением в данном районе космического вещества эффектов, перечень которых приведен в таблице. Все они, хотя и в разной мере, попали в поле зрения исследователей, занимавшихся проблемой, но интерпретировать их оказалось крайне трудно. Данная ситуация возникла не случайно и была связана с несколькими обстоятельствами, из которых главными являлись проблема космического фона и сложность геологической и геохимической обстановки района катастрофы.

К этому времени в результате работ, выполненных средствами космического и наземного мониторинга, было показано, что приток различных форм космического материала на Землю велик, а распределение его по поверхности неравномерно [61]. Разрешающая способность современных аналитических методов, используемых в мониторинге и космохимии, вполне достаточна для того, чтобы выявить космический материал в любой заданной точке Земли на суше, море и в воздухе. Поэтому обнаружение космической пыли в районе падения Тунгусского метеорита не является доказатель-

**Эффекты, обнаруженные к 1980 г. в районе падения Тунгусского метеорита и
интерпретируемые как результат Тунгусской катастрофы**

Наименование эффекта	Объект обнаружения	Место обнаружения	Источник
Наличие магнетитовых и силикатных микрокапель застывшего космического расплава	Почва	Эпицентр, помимо этого — обширная зона, начинающаяся в 80 км к северо-западу от места падения и простирающаяся вдоль бассейна р. Таймура вплоть до Нижней Тунгуски	[100]
Наличие микрокапель застывшего металлического аэрозоля	Торф	»	[15], [16], [22]
Наличие микрокапель застывшего силикатного аэрозоля	»	»	[15], [16], [24], [31]
Наличие остроугольных металлических пластинок, обогащенных Ni и Co	»	Эпицентр, район горы Острой	[1]
Обогащение «сколовым» ¹⁴ С	Почва, торф (сильнокатная фракция)	Эпицентр, район вывала леса	[90]
Обнаружение графит-лонсдейлитовых сростков	Торф	Эпицентр	[91]
Аномалии содержания ряда легких элементов	»	»	[40] — [47]
Повышенное содержание редкоземельных элементов	»	»	[23]
Обогащение редкоземельными элементами	Почва	Эпицентр, район горы Острой	
Сдвиг в изотопном составе свинца	Торф	Эпицентр	[65]

ством ее связи с Тунгусским падением. Это позволило взять под сомнение причастность к Тунгусской катастрофе мелкодисперсного космического материала, обнаруживаемого в природных объектах, прежде всего в почвах [61, 100], если эти данные не подкреплены соответствующими находками в стратифицируемых средах (торфах, донных отложениях илов).

Оказалось, что проблема космического фона не снимается даже при работе со стратифицируемыми объектами, ибо и в этом случае не устраняется возможность миграции, рассеяния и селектив-

ного накопления космогенного вещества, что связано с процессами, происходящими как в биоте, так и в абиоте.

Выявилась необходимость учитывать возможность накопления космогенного материала в природных ловушках, в роли которых могут выступать различного рода отстойники, естественные поверхности раздела, концентраторы биологического происхождения (микроорганизмы, растения, животные, особенно колониальные). Следует также принимать во внимание отсутствие надежных критериев дифференциации космических аэрозолей от некоторых видов земной пыли, в частности от пирогенных частиц, образующихся при крупных лесных и торфяных пожарах. Эти обстоятельства определили сдержанную оценку результатов космохимической съемки района Тунгусской катастрофы [15, 16, 24, 31], объектом которой являлись сфагновые торфы верховых болот. Хотя превышение концентрации силикатных сферул в катастрофном слое к 1980 г. оказалось доказанным [9], уверенность в стопроцентной космогенности отсутствовала, ибо подобные же частицы образуются при лесных пожарах.

Что касается остроугольного космогенного материала, описанного в [1], то он был обнаружен только в одной, хотя достаточно представительной, точке района (торфяник «Бублик» близ горы Острой) и говорить о его происхождении было преждевременным. То же в полной мере относится и к графит-лонсдейлитовому сростку, обнаруженному в катастрофном слое Северного торфяника группой украинских космохимиков, работавших совместно с экспедициями СО АН СССР в 1974—1979 гг. [91]. Попытка реконструкции химического состава Тунгусского метеорита, предпринятая авторами [42—47], была основана на результатах анализа одной колонки торфа, отобранной в точке, подвергавшейся, начиная со времени экспедиции Л. А. Кулика, интенсивному антропогенному воздействию (ближе окрестности лаборатории). Интерпретация других, весьма многочисленных, геохимических аномалий, имеющих площадной характер и тяготеющих к эпицентру катастрофы, была крайне затруднена выявившимся в середине 70-х годов практически идеальным совпадением эпицентра Тунгусского взрыва с центром кратера Куликовского палеовулкана, функционировавшего в триасе [89].

Таким образом, к 1980 г. в районе Тунгусской катастрофы был описан целый ряд явлений, которые можно объяснить выпадением на этой территории различных форм космического материала. В то же время вещества, достоверно относящегося к Тунгусскому метеориту, обнаружено не было. В связи с этим дальнейшие поиски продолжались, во-первых, непосредственно в районе падения метеорита, во-вторых, в Антарктиде и Гренландии с учетом планетарного характера Тунгусской катастрофы.

Элементные аномалии в природных объектах района выявлялись на основе изучения годовых колец деревьев, переживших 1908 г., и состава торфов. Исследование состава почв на описательном уровне к 1980 г. было закончено. Попытки обнаружить элементные и изотопные аномалии в кольцах деревьев, переживших Тун-

гусскую катастрофу, предпринимались неоднократно и безуспешно. Было выявлено, что элементный и изотопный состав годичных колец лиственниц, переживших 1908 г., по ряду параметров существенно отличается от до- и послекатастрофных слоев [58]. Интерпретация этих находок велась обычно с позиций достаточно механистичных представлений о деревьях как о своеобразном календаре аэрозольных выпадений. Работа эта, продолженная В. Д. Несветайло [81] на новой модели (сосны, растущие на поверхности болота), выявила несколько важных обстоятельств.

Во-первых, сам факт нарушения элементного состава в катастрофных годичных кольцах был подтвержден по более совершенной методике. Во-вторых, было показано, что указанное явление затрагивает широкий круг элементов, относящихся к разным периодам и группам системы Менделеева. В-третьих, — и это очень существенно — было установлено, что характер этих сдвигов в огромной степени зависит от того, на какой высоте от корневой метки берется исследуемый образец. Дерево, являясь живой, системой, само активно определяет спектр элементов, откладываемых в том или ином анатомическом отделе своего организма, и поэтому механическая интерпретация выявляемых картин может привести к грубым ошибкам в их трактовке. Данные В. Д. Несветайло свидетельствуют о важной роли биологического барьера деревьев в формировании их микроэлементного состава; вполне понятно, что в 1908 г. из-за механических и термических повреждений деревьев биологический барьер оказался нарушенным и поэтому даже в совершенно стабильной в отношении ее химического состава окружающей среде микроэлементный состав годичных колец, примыкающих к 1908 г., мог оказаться измененным. Поэтому корректность трактовки наблюдаемых в районе Тунгусской катастрофы биологических аномалий возможна только с учетом флуктуаций химического состава деревьев в пределах одного организма и роли биологического барьера. Очевидно, что для решения данной задачи необходимо проведение специальной методической работы, связанной с решением ряда вопросов экологической биохимии деревьев, растущих в северо-таежной зоне.

Результаты изучения элементных аномалий в торфах района катастрофы представлены в публикациях [21, 23, 42, 44, 47]. Итоги этого достаточно обширного раздела полевых и камеральных исследований таковы:

1) подтверждено, что элементный состав слоя торфа, включающего прирост 1908 г., в районе Тунгусской катастрофы существенно изменен в сравнении как с до- и послекатастрофными слоями, так и с торфами фоновых районов;

2) налицо заметное обогащение катастрофного слоя такими элементами как Co, Ni и редкие земли, а по некоторым данным — Zn, Br, Au, Pb и некоторыми другими;

3) в отношении ряда элементов эффект несводим к вторичному переотложению выпавшего материала и к обогащению катастрофного слоя земной пылью, поднятой взрывной волной Тунгусского метеорита;

4) геометрической точкой района, к которой стягивается большинство (но не все) названных эффектов, является болотный массив, расположенный к западу от Изб Кулика в районе горы Острой (в частности, торфяник «Бублик»);

5) помимо эпицентральной зоны эффект элементного обогащения катастрофного слоя отчетливо прослеживается [21] на торфяниках, расположенных в 100—150 км к северо-востоку от места Тунгусского взрыва, в зоне, лежащей к северу от предполагаемой траектории Тунгусского космического тела, что может быть интерпретировано как след оседания пылевого следа болида.

В совокупности с результатами работ предыдущего десятилетия эти данные могут свидетельствовать о привнесении в природные среды района катастрофы значительных количеств космического материала. Вывод этот, однако, неоднозначен по причинам, отмеченным выше, в числе которых едва ли не главная роль принадлежит сложной геохимической обстановке района. Поэтому строгое доказательство космогенности выявленных аномалий возможно в случае, если они маркируются не только количественными сдвигами в содержании тех или иных элементов, но и другими признаками — в частности, нехарактерными для земных объектов элементными соотношениями и изотопными сдвигами. Действительно, элементные соотношения, характеризующие слой торфа 1908 г., по данным [42, 45—47, 63], существенно отличаются от встречающихся обычно в земных условиях, и это обстоятельство могло бы послужить критерием их космогенности, если бы не возможность антропогенной контаминации.

Другим, еще более надежным, критерием космогенности являются изотопные сдвиги, которые, к сожалению, могут быть прослежены в отношении далеко не всех элементов. Одним из наиболее важных результатов за последние 5 лет является обнаружение в торфах эпицентральной зоны катастрофного района аномалий изотопного состава углерода и водорода [64], что в совокупности с выявленным ранее сдвигом в изотопном составе свинца [1, 65] позволяет уверенно говорить о наличии в этом районе изотопной аномалии, хотя космическое ее происхождение нуждается в строгом доказательстве. По данным [64], катастрофный слой торфа в эпицентре Тунгусского взрыва обогащен «мертвым» углеродом и тритием. Эффект этот ярок, статистически достоверен и прослеживается по крайней мере в двух точках эпицентральной зоны — на торфяниках «Бублик» и Северном (в последнем случае он сочетается с аномалией по свинцу). Характер указанного изотопного сдвига таков, что он может быть в принципе объяснен одномоментным внесением больших количеств добиогенной космической органики. Доказательство данного предположения может, очевидно, снять с обсуждения отсутствие в районе достаточных представительных количеств космического вещества.

Данные [64] относительно сдвига изотопного состава углерода в катастрофном слое района Тунгусского падения согласуются с независимо полученными результатами изучения торфов [35]

и годичных колец деревьев, переживших Тунгусскую катастрофу [113].

Исследование изотопных сдвигов в природных средах района Тунгусской катастрофы позволило сделать два существенных заключения.

Во-первых, фактически подтверждено предположение о возможности выпадения в районе Тунгусской катастрофы больших количеств абиогенной органики космического происхождения. Хотя имеющиеся данные и не позволяют пока считать эту версию окончательно доказанной, вероятность ее представляется очень высокой.

Во-вторых, анализ изотопных сдвигов по свинцу позволяет уверенно говорить о том, что растворимые элементы, находящиеся в катастрофном слое торфа, с течением времени мигрируют в торфяной залежи, поднимаясь в верхние, живые слои моховой дернины по мере старения торфяного покрова. На этом основании представляется вероятным предположение о том, что подобного рода природный насос, функционировавший в районе Тунгусской катастрофы на протяжении 70 лет после падения метеорита, мог привести к «перекачке» значительных количеств выпавшего космического материала из катастрофного слоя торфа в современные, живые слои мохового очеса. Не исключено, что в связи с этим получает новую интерпретацию любопытный факт, отмеченный А. П. Бояркиной с соавторами [23] в одной из первых публикаций по вопросу об элементном составе торфов района Тунгусской катастрофы. Авторы этой работы обнаружили существенное обогащение верхних слоев торфяной залежи катастрофного района такими элементами, как свинец и некоторые другие. Эта находка была интерпретирована тогда как доказательство глобального выпадения техногенных аэрозолей и наличия техногенного планетарного фона. Впоследствии, однако, выяснилось, что эффект такого рода в удаленных от источников индустриальной пыли районах Томской области не прослеживается, — хотя в случае, если бы это было действительно связано с наличием глобального техногенного фона, следовало бы ожидать всеобщего его распространения по крайней мере в пределах одной климатогеографической зоны. В программе работ ближайших лет представляется необходимым предусмотреть два момента. Во-первых, при определении границ зоны, в пределах которой данное явление прослеживается, если оно связано с Тунгусской катастрофой, нужно учесть «тяготение» эффекта именно к этому району, а если оно действительно является следствием формирования планетарного индустриального фона — можно ожидать обнаружения его далеко за пределами междуречья Подкаменной и Нижней Тунгусок. Во-вторых, следует уделить внимание изучению элементных и изотопных соотношений в местах обнаружения элементного обогащения верхних слоев для дифференциации аэрозольных выпадений космического и промышленного происхождения.

Изучение изотопных аномалий в торфах и кольцах деревьев имело также еще одну грань. Хотя, как говорилось выше, шансы гипотезы ядерного взрыва за последние годы резко упали, считать

ее полностью ушедшей в прошлое все же преждевременно. В связи с этим необходимо остановиться на публикациях, цель которых состояла в определении концентрации ^{14}C в годичных слоях деревьев, переживших Тунгусскую катастрофу.

Начало этому циклу работ было положено в 1965 г. статьей [108], авторы которой на основании выявленного ими увеличения концентрации ^{14}C в годичных кольцах деревьев, переживших 1908 г., выдвинули гипотезу об аннигиляционной природе Тунгусского взрыва. Исследования, выполненные в СССР и за рубежом [35, 37, 113] и обобщенные в [50], однозначного ответа на поставленный вопрос не дали, в связи с чем эти работы были продолжены авторами [82, 90], сопоставившими динамику ^{14}C в годичных кольцах деревьев, взятых как в непосредственной близости от эпицентра катастрофы, так и далеко за его пределами (север Томской области). При этом были получены следующие выводы:

1) эффект, описанный авторами [108], реален и прослеживается как в районе Тунгусской катастрофы, так и в других районах Сибири;

2) несмотря на статистическую значимость и инвариантность по отношению к географической точке, связь его с Тунгусской катастрофой маловероятна. Максимум его приходится на 1909 г., совпадая с суперпозицией двух максимумов — солнечного и радиоуглеродного: короткопериодического, 11-летнего, и долгопериодического, 88-летнего. С полным основанием можно сказать, что этот максимум обязан быть; оговоримся: заключение в пользу такой трактовки может быть сделано только в случае, если подобного рода суперпозиционные сдвиги будут обнаружены в годичных кольцах, приходящихся на другие, аналогичные, но более древние солнечные «супермаксимумы»;

3) отчетливого градиента спада содержания ^{14}C при сравнении эффектов, наблюдаемых в зоне Тунгусского падения и в Томской области, не прослеживается. Хотя в рамках аннигиляционной гипотезы данный феномен и объясним, объяснение это содержит в себе все же элемент натяжки;

4) топография эффекта в непосредственной близости от эпицентра Тунгусского взрыва необычна: в одних деревьях он выражен ярко, в других — отсутствует [99]. По мнению авторов работы, подобная мозаичность может быть объяснена пятнистым внесением в биоту значительных количеств «мертвого» космогенного углерода, повышенная концентрация которого вызвала локальное гашение максимума по ^{14}C , приходящегося на 1909 г.

Помимо выявления и исследования изотопных и элементных аномалий в природных объектах района в 1980—1985 гг. продолжались поиски космического вещества на основании морфологических признаков. Эти исследования связаны прежде всего с выявлением и анализом микрокапель космогенного металлического либо силикатного расплава микросферул, или шариков, в почвах и торфах района.

Хотя к 1980-м годам стало очевидно, что почва является не самым лучшим субстратом, в течение последних лет вышли три ра-

боты, посвященные анализу морфологии и элементного состава металлических шариков, выделенных из почв района Тунгусской катастрофы [109, 114, 120]. Статья [120] посвящена морфологической типологии шариков: используя метод сканирующий электронной микроскопии, автор ее разделил шарики с места Тунгусской катастрофы на ряд категорий (компактные, шероховатые, реголито-подобные, мозаичные и т. д.). Работа имеет значение для характеристики фоновых выпадений метеорной пыли и вряд ли углубляет знания в области поисков вещества Тунгусского метеорита как такового. То же относится и к исследованиям [109, 114], в которых приводятся дополнительные сведения об элементном составе шариков, выделенных из почв района Тунгусской катастрофы, в частности относительно содержания в них платиноидов.

Для выявления микросферул в торфах необходимо было, во-первых, завершить начатую в 1968 г. космохимическую съемку территории междуречья Подкаменной Тунгуски и Чуни, во-вторых, уточнить методику выявления космического вещества, законсервированного в торфяной залежи.

В результате съемки получены данные, свидетельствующие о наличии в междуречье Тэтэрэ — Южная Чуня обширной, пока не оконтуренной зоны, в пределах которой наблюдается обогащение слоя, сопряженного катастрофе, силикатными микросферулами и рядом микроэлементов [114]. Есть основания полагать, что эта зона соответствует месту оседания абляционного хвоста Тунгусского болида, что не противоречит принятой большинством исследователей версии о физической картине разрушения Тунгусского космического тела.

Новая методика выявления космического вещества [78], позволила уточнить глубину залегания катастрофного слоя торфа. Приведенные в работе данные требуют пересмотра негативных результатов космохимической съемки некоторых районов Тунгусско-Чунского междуречья, проведенной после 1974 г., не меняя, по-видимому, принципиальной оценки результатов полевых работ периода 1968—1974 гг.

Поиски космического вещества в природных объектах района Тунгусского падения морфологическими методами включали в себя также поиски различного рода минералов, в той или иной мере специфических для космических объектов. Наиболее важным результатом этого направления работ следует считать обнаружение в конце 1970-х годов в катастрофном слое торфа графит-лонсдейлитовых сростков космического происхождения. Эта безусловно интересная находка вызвала предположение, что указанные минеральные частицы принадлежат Тунгусскому метеориту или представляют собой метаморфизованные его остатки [91]. Эта версия за истекшие пять лет не была ни подтверждена, ни опровергнута. Многочисленные и упорные попытки повторить находку к положительным результатам не привели, не удалось пока получить и однозначных доказательств космогенности этих частиц на основании анализа их химического состава. Использованный с этой целью нейтронно-

активационный анализ [91] не дал однозначного результата: сопоставление микроэлементного состава с составом углистых сланцев, импактных графитов, алмазов и метеоритов свидетельствует скорее в пользу земного происхождения алмаз-графита, хотя и не исключает возможность привноса космического вещества.

Помимо работ, ориентированных на поиски вещества Тунгусского метеорита в природных средах катастрофного района, были предприняты попытки выявить глобальные космогенные аномалии, относящиеся к 1908 г. Р. Ганапати отметил повышение содержания иридия и других платиноидов в слое антарктического льда, относящегося, по его мнению, к 1908 г. [109], интерпретировал это как прямое доказательство глобальной космогенной иридиевой аномалии, образовавшейся в результате падения Тунгусского метеорита, и сделал далеко идущие выводы о вещественном составе Тунгусского космического тела и о его массе. Было бы в корне неверно отрицать важное значение работы Р. Ганапати для решения не только проблемы Тунгусского метеорита, но и более глобальной проблемы роли космических катастроф в истории Земли, ибо Р. Ганапати стремился доказать связь глобальных иридиевых аномалий с космическими катастрофами. В то же время считать эту интерпретацию однозначной и безукоризненной было бы преждевременным.

Прежде всего, хотя антарктическая иридиевая аномалия, скорее всего, реальна, космогенность ее не доказана. Анализ сведений, сообщенных Р. Ганапати, убеждает в том, что слой льда, в котором выявлена аномалия, датируется традиционными гляциологическими методами не 1908, а 1912 г. На это обстоятельство мы уже обращали внимание [19]. Дело в том, что 1912 г. отмечен крупнейшим в истории нашего столетия Катмайским вулканическим извержением в Алеутской гряде. Период 1912—1914 гг. характеризовался резким снижением прозрачности атмосферы из-за запыления вулканическим аэрозолем. В связи с этим мы [19] высказали предположение о возможной связи иридиевой аномалии с событиями не 1908, а 1912 г. и с выпадением не космической, а вулканической пыли. Действительно, в геологической литературе в последнее время появились сообщения о том, что иридиевая аномалия, относящаяся к меловому периоду, образовалась в результате мощных вулканических извержений, в ходе которых произошел выброс в атмосферу Земли больших количеств пирокластического материала [115]. В любом случае предположения Р. Ганапати заслуживают крупномасштабной арктической проверки, в числе задач можно назвать организацию послынного отбора кернов арктических льдов в ряде точек не только Антарктиды, но и Арктики; идеальным во всех отношениях нам представляется широтный срез с закладкой скважин на о. Врангеля, Новосибирских о-вах, Северной Земле и Земле Франца Иосифа. Реализация данной идеи — дело нелегкое, однако результаты его дали бы возможность судить о динамике атмосферных аэрозольных выпадений за время, изме-

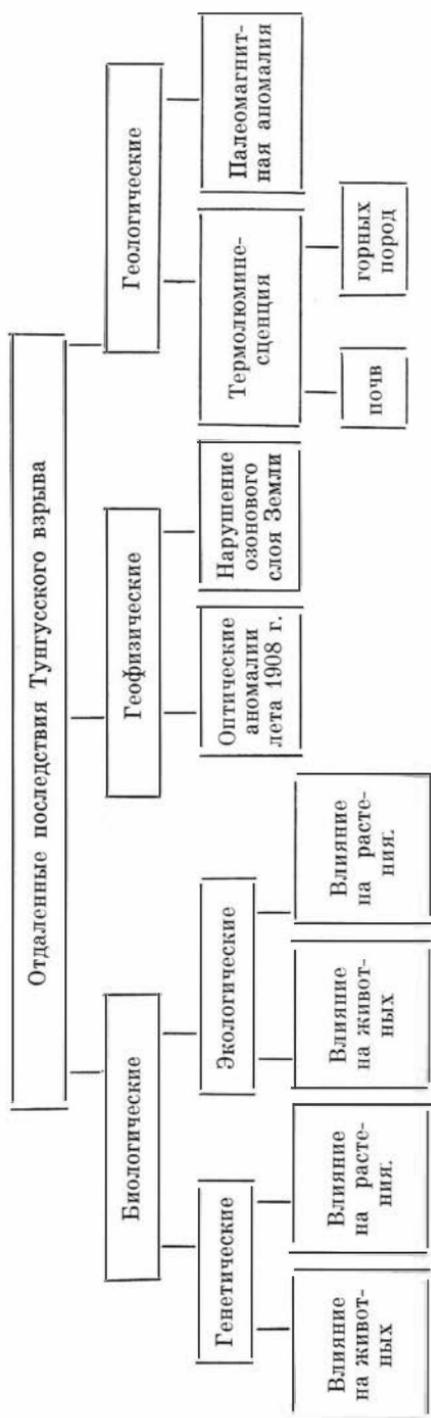
ряемое многими сотнями, если не тысячами лет, что могло охватить европейский и сибирский Север выше 55-й параллели; очевидно, что в случае, если бы источником формирования аномалии был Катмайский вулкан, максимум эффекта должен быть отмечен на торфяниках Камчатки, Магаданской области и Восточной Якутии, в случае же, если причиной ее возникновения было падение Тунгусского метеорита, максимум иридиевой аномалии должен локализоваться в Центральной Сибири. Эта работа в настоящее время уже начата: летом 1984 г. экспедиционной группой ГЕОХИ АН СССР были отобраны образцы в бассейне Нижней Тунгуски для проверки предположения о повышенной концентрации платиноидов в слое торфяных отложений, относящемся к 1908 г. Отобраны и колонки сфагновых торфов из района эпицентра Тунгусской катастрофы.

В числе работ, посвященных выявлению глобальных космогенных аномалий, датированных 1908 г., имеются также исследования, ориентированные на поиски вторичных продуктов Тунгусской катастрофы, выпадение которых также могло иметь планетарный характер. К таким исследованиям относится публикация [116], авторы которой измерили содержание окислов азота в гренландских ледниках, чтобы проверить гипотезу Р. Турко [119] о механизме Тунгусского взрыва. Негативный результат этой работы может только усилить весьма скептическое отношение ко всей группе гипотез, основанных на допущении о сверхнизкой плотности Тунгусского метеорита.

Таким образом, пока нельзя сделать окончательный вывод о материальном составе взорвавшегося тела. Наиболее значимы изотопные сдвиги по углероду, водороду и свинцу, выявленные в растительных объектах района катастрофы и свидетельствующие, возможно, о массивном внесении в биосферу больших количеств космического материала. Перспективно также продолжение работ по изучению природы микросферул, особенно силикатных, так как аргументы можно предполагать наличие в космических телах как астероидального, так и кометного происхождения значительных количеств соединений кремния.

В 1980—1985 гг. продолжалось изучение отдаленных последствий Тунгусского взрыва. На схеме приведены данные по трем направлениям исследований: биологическому, геофизическому и геологическому.

Биологическое направление включает в себя исследования биологических, в том числе генетических, последствий Тунгусской катастрофы. К 1980 г. в районе падения Тунгусского метеорита был отмечен ряд биологических эффектов, важнейшие из которых — резкое учащение мутаций у сосны [53] и ускорение роста деревьев [55, 79, 80, 107]. Эти эффекты статистически значимы, тяготеют к эпицентру катастрофы и не сводимы к действию тривиальных экологических факторов (послекатастрофному отступанию вечной мерзлоты, разрежению лесного массива взрывной волной Тунгусского метеорита и т. д.). Конкретные причины их остались невыяс-



ненными. Для объяснения ускоренного роста деревьев предлагались версии о радиационной стимуляции роста [62], об изменении экологических условий [6], о стимулирующем действии внесенного в почву космического вещества [40, 43, 55]. Первая из них подкрепления не получила, вторая плохо соответствует фактическим данным (в частности, топографии эффектов и их площадным соотношениям с зонами пожара и вывала), что касается третьей, то она хорошо обоснована и подтверждена методами факторного анализа еще в 1960-е годы [54], хотя общего признания не получила. В связи с этим были предприняты попытки изучения корреляционных связей между микроэлементными аномалиями почв района и ускоренным ростом растений в модельных системах (проращивание семян сосны и ряда других растений) [29]. Показано наличие таких корреляций с редкоземельными элементами, что заставляет вернуться к вопросу о возможной связи редкоземельных элементов с предполагаемым веществом Тунгусского метеорита, а именно с повышенным содержанием иттербия в почвах эпицентральной зоны и в слое торфа, сопричастном к 1908 г. Особо следует выделить работы С. П. Голенецкого с соавторами [40, 41], в которых вопрос о стимулирующем действии вещества Тунгусского метеорита возводится в ранг крупной космобиологической проблемы. Логика С. П. Голенецкого состоит в том, что исходя из рассчитанного им состава Тунгусского космического тела [43], которое он отождествляет с кометным ядром, автор постулирует и с известной долей вероят-

ности обосновывает позицию о кометном происхождении значительной части космического аэрозоля и об определяющей роли последних в формировании химического и изотопного состава гидро- и биосферы. Концепция С. П. Голенецкого характеризуется новизной и смелостью, представляя собой дальнейшее развитие идей В. И. Вернадского о космобиологических связях. В последнее время С. П. Голенецкий получил экспериментальные подтверждения существенной стимуляции роста различных растений микроэлементными удобрениями, имитирующими состав кометного вещества [40].

Таким образом, в последнее пятилетие получены подтверждения того, что ускоренный прирост растений в районе Тунгусской катастрофы связан со специфическим действием вынесенного в биосферу космического вещества.

Исследованию генетических эффектов в районе Тунгусского падения посвящены работы [25, 87]. Авторы [87] пытались выявить связь генетических нарушений, вызванных Тунгусской катастрофой, с лесным пожаром 1908 г. Показано, что, хотя на разновозрастных лесных гарях действительно наблюдается некоторое повышение частоты мутаций, тем не менее эффекты, наблюдаемые в зоне Тунгусского падения, явно несводимы к действию пожара 1908 г. Вторая работа [25] характеризует морфометрические особенности муравьев, обитающих в зоне Тунгусской катастрофы. Она подтверждает наличие у насекомых некоторых морфологических особенностей, однако связь последних со специфическим действием Тунгусского взрыва проблематична.

Однако направление это далеко не исчерпало себя. Необходимо, в частности, провести исследование микроэлементного состава почв в расчетном центре ускоренного прироста леса, находящемся, по [54], на северо-западе далеко за пределами области вывала леса. Следует расширить спектр видов, подлежащих генетическому мониторингу, получить сравнительную характеристику изоферментного спектра растений в центре катастрофы и в контрольном районе. Работа эта могла бы иметь не только теоретический, но и прикладной аспекты в изучении влияния катастроф на генетический фон и на динамику мутационного фона в биоценозах. Особенно нуждаются в продолжении работы по выяснению роли кометного вещества в формировании биохимического состава биосферы, которые могут иметь принципиальное значение для понимания ряда вопросов эволюционной биогеохимии.

Другая категория эффектов Тунгусского взрыва связана с влиянием его на физические свойства почв и горных пород района катастрофы. Сюда относятся изменение остаточной намагниченности почв и нарушение термолюминесценции минералов. К 1980 г. описательная картина первого из них была составлена достаточно полно [13, 14, 26, 56], хотя механизм остается невыясненным. Работы в этом направлении в последнем пятилетии оказались законсервированными, хотя в ряде источников [57] справедливо указывается на необходимость их дальнейшего продолжения.

Есть основания думать, что палеомагнитный эффект содержит огромную информацию о Тунгусском феномене, соизмеримую, а возможно, даже превосходящую по значимости данные о бывале леса, вызванном взрывной волной Тунгусского метеорита.

Наличие аномалий термолюминесценции в районе падения Тунгусского метеорита к 1980 г. было доказано [13, 14, 26, 56]. Было высказано предположение о связи их с термическим действием взрыва и с последовавшим за ним лесным пожаром, однако границы этой области приблизительны, так как объектом работы были скальные выходы, распределение которых по территории неравномерно. В последние годы интенсивно изучалась термолюминесценция минеральной компоненты почв района, что позволило представить границы распространения эффекта и его градиент. Задачами в этой области остаются изучение механизма возникновения как палеомагнитного, так и термолюминесцентного эффектов, что потребует продолжения и полевых, и камеральных работ.

Крупное событие в истории изучения Тунгусского метеорита — открытие Р. Турко с соавторами [119] нарушения озонового слоя Земли, вызванного Тунгусской катастрофой. Наряду с комплексом атмосферно-оптических аномалий лета 1908 г., этот эффект, безусловно, является одним из наиболее впечатляющих. По мнению Р. Турко, для восстановления нарушенного слоя потребовалось около двух лет, а затягивание этого процесса могло вызвать серьезные климатические сдвиги. Данные, сообщенные Р. Турко с соавторами, имеют важное значение для понимания Тунгусской проблемы, они хорошо аргументированы (в основу их положены ряды наблюдений обсерватории Маунт-Вилсон), хотя механизм возникновения указанного эффекта остается предметом дискуссии. Известно, что Р. Турко объяснил разрушение озона образованием во время пролета и взрыва 2,5 млн т окислов азота. С другой стороны, попытка К. Расмуссена [116] подтвердить это предположение на основании изучения содержания окислов азота в ядрах гренландского льда дала негативный результат. Необходимость продолжения работ на данном направлении очевидна.

Вопрос о нарушении озонового слоя Земли тесно связан с интерпретацией комплекса атмосферных оптических аномалий, сопровождавших Тунгусское падение и последовавших за ним. Известно, что интерпретация его явилась подлинным «камнем преткновения» для гипотез о природе Тунгусского метеорита. К 1980-м годам он был достаточно полно описан феноменологически [32, 59, 83], но его механизм удовлетворительного объяснения не получил. В течение 1980—1985 гг. были предприняты две попытки объяснить его, и обе, на наш взгляд, неудачны. Первая из них содержится в работе [119], авторы которой сводят механизм «светлых ночей» к образованию в ходе разрушения Тунгусского метеорита больших количеств окислов азота. Такая интерпретация вряд ли может быть принята в связи с тем, что окислы азота, образовавшиеся в плотных слоях атмосферы Земли, вряд ли могли быть быстро подняты на высоту более 120 км, т. е. в слои атмосферы, ответственные за формирование соб-

ственной эмиссии ночного неба, которая в ночь с 30 июня на 1 июля 1908 г. была несомненно усилена.

Авторы второй работы [93] пошли по малоперспективному пути объяснения «светлых ночей» случайным совпадением во времени двух событий — падения Тунгусского метеорита и максимума вулканических сумерек, связанных с извержением вулкана Кракатау. Тем самым они повторили ошибку, сделанную в 1909 г. Стентзелем [83] и усугубленную позднее Шредером [117], анализ которой проведен нами в [83]. Тем не менее в работе [93] содержится ценная информация относительно пространственного распространения оптических аномалий.

Интерпретация «светлых ночей» представляет собой нелегкую задачу, решение которой нереально без прогресса в смежных областях геофизики и астрономии, в частности в физике мезосферных облаков и в понимании мезосферных процессов. К сожалению, в последнее пятилетие работы, характеризующие вклад космофизических процессов в формирование серебристых облаков, практически отсутствовали, как и сведения о связи между метеорными явлениями, мезосферными облаками и собственной эмиссией ночного неба. Как правило, эти физические явления рассматриваются отдельно, оптически же аномалии лета 1908 г. представляли собой взаимосвязанный комплекс, в чем и состоит главная трудность его интерпретации.

Работы, посвященные построению общей теории Тунгусского феномена, немногочисленны. К ним относится прежде всего работа Р. Турко с соавторами [119]. Исходя из сверхнизкой ($0,001 \text{ г/см}^3$) плотности Тунгусского метеорита, авторы ее не только развили версию о механизме его взрывоподобного разрушения за счет быстрого торможения в плотных слоях атмосферы Земли, но и попытались объяснить ряд других эффектов, связанных с Тунгусской катастрофой, — комплекс атмосферных оптических аномалий, ускоренное возобновление растительности, нарушение озонового слоя и т. д. Важную роль Р. Турко с соавторами отводят при этом образованию больших количеств окислов азота, которые могли послужить причиной атмосферно-оптических, геофизических и биологических последствий Тунгусского феномена. Сама по себе попытка такого рода заслуживает самой положительной оценки, однако реальность исходной посылки авторов относительно сверхнизкой плотности тела сомнительна и подвергается критике в ряде работ советских и зарубежных ученых.

Если на протяжении по крайней мере трех десятилетий история Тунгусской проблемы была связана с противостоянием двух альтернативных гипотез: кометной Фесенкова — Астаповича и концепции ядерного взрыва, то в 1984 г. этот перечень пополнился версией о плазменной природе Тунгусского метеорита [52]. Хотя судьба научных гипотез непредсказуема, жизненность ее представляется маловероятной. Трудности, с которыми она сталкивается, освещены выше. Судя по всему, гипотезу эту следует рассматривать как модель, альтернативную по отношению к традиционным представлениям. В этом состоит ее положительное значение.

В целом, судя по всему, время для ответа на вопрос о природе Тунгусского падения еще не наступило. Необходим фактический материал о составе комет, который может внести определенные коррективы в существующие представления о Тунгусском метеорите.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева К. Н., Васильев Н. В., Ковалюх Н. Н. и др. Свинец из торфов в районе Тунгусского явления // Космическое окружение и Земля.— Киев: Наук. думка, 1977.— С. 125—128.
2. Алексеева К. Н., Ковалюх Н. Н., Смирнова А. В. и др. Элементарный состав магнитных частиц с места падения Тунгусского метеорита // Космическое окружение и Земля.— Киев: Наук. думка, 1977.— С. 122—125.
3. Анфиногенов Д. Ф. О Тунгусском метеоритном дожде // Успехи метеоритики.— Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1966.— С. 20—22.
4. Анфиногенов Д. Ф., Будаева Л. И. Болиды лета — осени 1908 г. в средних широтах Евразии в связи с проблемой Тунгусского метеорита // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 22—29.
5. Астапович П. С. Метеорные явления в атмосфере Земли.— М.: ГИФМЛ, 1958.— 640 с.
6. Бережной В. Г., Драпкина Г. П. Изучение аномального прироста леса в районе падения Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1964.— Вып. 24.— С. 162—169.
7. Бояркина А. П., Бронштэн В. А., Станюкович А. К. Нестационарное взаимодействие ударных волн в газодинамических задачах метеоритики // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 138—156.
8. Бояркина А. П., Васильев Н. В., Глухов Г. Г. и др. Изменение элементного состава окружающей среды в окрестностях промышленных городов на примере г. Томска // Опыт и методы экологического мониторинга.— Пушкино: НЦБН АН СССР, 1978.— С. 157—161.
9. Бояркина А. П., Васильев Н. В., Меняцвева Т. А. и др. К оценке вещества Тунгусского метеорита в районе эпицентра взрыва // Космическое вещество на Земле.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— С. 8—15.
10. Бронштэн В. А. Тунгусский метеорит и болиды Прерийной сети // Астроном. вестник.— 1976.— Т. 10, № 2.— С. 73—80.
11. Бронштэн В. А. Физика метеорных явлений.— М.: Наука, 1981.— 416 с.
12. Бронштэн В. А., Станюкович К. П. О движении больших тел в атмосферах планет // Космические исследования.— 1979.— Т. 17, вып. 6.— С. 858—866.
13. Василенко В. Б., Демин Д. В., Журавлев В. К. Термолюминисцентный анализ пород из района Тунгусского падения // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 227—231.
14. Василенко В. Б., Журавлев В. К., Лысаков В. С. Термолюминисцентный анализ пород из района Тунгусского падения // Успехи метеоритики.— Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1966.— С. 4.
15. Васильев Н. В. Состояние проблемы Тунгусского метеорита на начало 1974 г. // Проблемы метеоритики.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 3—12.
16. Васильев Н. В. Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита // Проблемы астрономии и геодезии.— М.: ВАГО, 1977.— С. 88—106.
17. Васильев Н. В. История изучения проблемы Тунгусского метеорита в послевоенные годы (1958—1969) // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 3—22.
18. Васильев Н. В. К итогам изучения проблемы Тунгусского метеорита // 50 лет научной деятельности ВАГО.— М.: ВАГО, 1985.— С. 115—128.
19. Васильев Н. В. Загадка века // Наука в СССР.— 1985.— № 1.— С. 115—128.

20. Васильев Н. В., Алексеева К. Н., Бояркина А. П. и др. К семидесятилетию падения Тунгусского метеорита // Космохимия метеоритов, Луны и планет.— Киев: Наук. думка, 1980.— С. 115—125.
21. Васильев Н. В., Алексеева К. Н., Горбатенко В. П. Особенности элементного состава сфагновых торфов района падения Тунгусского метеорита // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 129—138.
22. Васильев Н. В., Бояркина А. П., Гольдин В. Д. и др. Материалы к оценке притока сферической фракции метеорной пыли на Землю // Проблемы космической физики.— Киев: Вища школа, 1975.— Вып. 10.— С. 84—89.
23. Васильев Н. В., Бояркина А. П., Пресс К. Ф. и др. Статистическая обработка данных спектрального анализа торфа в районе падения Тунгусского метеорита // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 122—129.
24. Васильев Н. В., Вронский Б. И., Демин Д. В. и др. Силикатные сферулы в торфах района падения Тунгусского метеорита // Докл. АН СССР.— 1971.— Т. 199, № 6.— С. 1400—1402.
25. Васильев Н. В., Дмитриенко В. К., Федорова О. П. О биологических последствиях Тунгусского взрыва // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 188—195.
26. Васильев Н. В., Журавлев В. К., Демин Д. В. и др. О некоторых аномальных эффектах, связанных с падением Тунгусского метеорита // Космическое вещество на Земле.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— С. 71—87.
27. Васильев Н. В., Иванова Г. М., Львов Ю. А. Новое о веществе Тунгусского метеорита // Природа.— 1973.— № 7.— С. 99—101.
28. Васильев Н. В., Ковалевский А. Ф., Разин С. А., Эпиктетова Л. Е. Показания очевидцев Тунгусского падения.— Томск, 1981.— 304 с.— Деп. в ВНИИТИ 24.11.81, № В350-81.
29. Васильев Н. В., Кухарская Л. К., Бояркина А. П. и др. О механизме стимуляции роста растений в районе падения Тунгусского метеорита // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 195—202.
30. Васильев Н. В., Львов Ю. А. Лучистый ожог деревьев в районе падения Тунгусского метеорита // Природа.— 1974.— № 3.— С. 99—101.
31. Васильев Н. В., Львов Ю. А., Вронский Б. И. и др. Поиски мелкодисперсного космического вещества в торфах района падения Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1973.— Вып. 32.— С. 141—146.
32. Васильев Н. В., Фаст Н. П. Границы зон оптических аномалий лета 1908 года // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 112—131.
33. Вернадский В. И. Об изучении космической пыли // Мирведение.— 1932.— № 5.— С. 32.
34. Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— 240 с.
35. Виноградов А. П., Девириц А. Л., Добкина Э. П. Концентрация ^{14}C в атмосфере во время Тунгусской катастрофы и антивещество // Докл. АН СССР. 1966.— Т. 168, № 4.— С. 900—903.
36. Владимиров Е. И. Метеориты в бассейне р. Енисей // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 227—235.
37. Власов Б. В. Антивещество.— М.: Атомиздат, 1966.— 185 с.
38. Войцеховский Б. В. К проблеме Тунгусского метеорита // Физика горения и взрыва.— 1980.— Т. 16, № 5.— С. 5—8.
39. Голенецкий С. П. Кометное вещество в окружающей среде // Мониторинг фонового загрязнения природных сред.— Л.: Гидрометеониздат, 1982.— Вып. 1.— С. 61—74.
40. Голенецкий С. П., Жигаловская Т. Н., Голенецкая С. П. К вопросу о роли атмосферных выпадений в формировании микроэлементного состава почв и растений // Почвоведение.— 1981.— № 2.— С. 41—48.
41. Голенецкий С. П., Малахов С. Г., Степанок В. В. и др. К поискам элементных и изотопных критериев для выявления космического вещества в соста-

- ве атмосферных выпадений // Ядерно-физические методы анализа в контроле окружающей среды. (Тр. I Всесоюз. совещ., 1979, Ташкент).— Л., 1980.— С. 113—117.
42. **Голенецкий С. П., Степанок В. В.** К поискам вещества Тунгусского космического тела // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 102—115.
 43. **Голенецкий С. П., Степанок В. В.** Кометное вещество на Земле // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 99—122.
 44. **Голенецкий С. П., Степанок В. В.** Некоторые особенности локальной структуры следов Тунгусской катастрофы 1908 г. // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 63—67.
 45. **Голенецкий С. П., Степанок В. В., Колесников Е. М.** Признаки космохимической аномалии в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. // Геохимия.— 1977.— № 11.— С. 1635—1645.
 46. **Голенецкий С. П., Степанок В. В., Колесников Е. М., Мурашов Д. А.** К вопросу о химическом составе и природе Тунгусского космического тела // *Астроном. вестник*.— 1977.— Т. 11, № 3.— С. 126—136.
 47. **Голенецкий С. П., Степанок В. В., Мурашов Д. А.** К оценке докатастрофного состава Тунгусского космического тела // *Астроном. вестник*.— 1981.— Т. 15, № 3.— С. 167—173.
 48. **Григорян С. С.** К вопросу о природе Тунгусского метеорита // *Докл. АН СССР*.— 1976.— Т. 231, № 1.— С. 57—60.
 49. **Григорян С. С.** О движении и разрушении метеоритов в атмосферах планет // *Космические исследования*.— 1979.— Т. XVII, вып. 6.— С. 875—893.
 50. **Девирц А. Л.** Радиоуглерод в атмосфере Земли в период Тунгусской катастрофы и в прошлом // *Труды Всесоюзного совещания по проблеме «Астрофизические явления и радиоуглерод»*. Тбилиси, 1969.— Тбилиси: Изд-во Тбилиск. ун-та, 1970.— С. 21—25.
 51. **Демин Д. В., Дмитриев А. Н., Журавлев В. К.** Информационный аспект исследований Тунгусского феномена 1908 г. // *Метеоритные исследования в Сибири*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 30—49.
 52. **Дмитриев А. Н., Журавлев В. К.** Тунгусский феномен 1908 года — вид солнечно-земных взаимосвязей.— Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1984.— 144 с.
 53. **Драгавцев В. А., Лаврова Л. А., Плеханова Л. Г.** Эколого-генетический анализ линейного прироста сосны обыкновенной в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. // *Проблемы метеоритики*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 132—141.
 54. **Емельянов Ю. М., Лукьянов В. Б., Шаповалова Р. Д., Некрасов В. И.** Использование многофакторного дисперсионного анализа для оценки факторов, оказавших влияние на изменение хода роста древесной растительности в районе Тунгусского падения // *Проблема Тунгусского метеорита*.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 134—136.
 55. **Емельянов Ю. М., Некрасов В. И.** Об аномальном росте древесной растительности в районе падения Тунгусского метеорита // *Докл. АН СССР*.— 1960.— Т. 135, № 5.— С. 1266—1269.
 56. **Журавлев В. К., Демин Д. В., Василенко В. Б., Лысаков В. С.** О термолуминесценции минералов в районе падения Тунгусского метеорита // *Проблема Тунгусского метеорита*.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 118—119.
 57. **Журавлев В. К., Дмитриев А. Н.** Гелиофизическая гипотеза природы Тунгусского феномена // *Метеоритные исследования в Сибири*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 128—141.
 58. **Золотов А. В.** Проблема Тунгусской катастрофы 1908 г.— Минск: Наука и техника, 1969.— 202 с.
 59. **Зоткин И. Т.** Об аномальных оптических явлениях в атмосфере, связанных с падением Тунгусского метеорита // *Метеоритика*.— 1961.— Вып. 20.— С. 40—53.
 60. **Зоткин И. Т., Цикулин М. А.** Моделирование взрыва Тунгусского метеорита // *Докл. АН СССР*.— 1966.— Т. 167, № 1.— С. 59—62.

61. **Иванова Г. М., Львов Ю. А., Васильев Н. В., Антонов И. В.** Выпадение космического вещества на поверхность Земли.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1975.— 120 с.
62. **Колесников В. И.** Аномальное возобновление древесной растительности в районе Тунгусской катастрофы // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1963.— С. 63—83.
63. **Колесников Е. М.** О некоторых вероятных особенностях химического состава Тунгусского космического тела // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 87—102.
64. **Колесников Е. М.** Изотопные аномалии в торфе с места падения Тунгусского метеорита // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 49—63.
65. **Колесников Е. М., Шестаков Г. И.** Изотопный состав свинца из торфов района Тунгусского взрыва 1908 г. // Геохимия.— 1979.— № 8.— С. 1202—1211.
66. **Коробейников В. П., Путятин Б. В., Чушкин П. И., Шуршалов Л. В.** Об эффектах излучения в условиях неоднородной атмосферы при Тунгусском явлении // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 5—24.
67. **Коробейников В. П., Чушкин П. И., Шуршалов Л. В.** Моделирование и расчет взрыва Тунгусского метеорита // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 115—138.
68. **Коробейников В. П., Чушкин П. И., Шуршалов Л. В.** Взаимодействие больших метеоритных тел с атмосферой Земли // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 99—117.
69. **Кринов Е. Л.** Тунгусский метеорит.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949.— 196 с.
70. **Кулик Л. А.** Картина вывала и ожога в районе падения Тунгусского метеорита // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 15—19.
71. **Курбатский Н. П.** О лесном пожаре в районе Тунгусского падения в 1908 г. // Метеоритика.— 1964.— Вып. 25.— С. 168—175.
72. **Курбатский Н. П.** О возникновении лесного пожара в районе падения Тунгусского метеорита // Проблемы метеоритики.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 69—71.
73. **Левин Б. Ю., Бронштэн В. А.** Тунгусское событие и метеоры с заключительной вспышкой // Астроном. вестник.— 1985.— Т. 19, № 4.— С. 319—330.
74. **Маргелис Д.** Роль симбиоза в эволюции клетки.— М.: Мир, 1984.— 420 с.
75. **Мартынюк М. М.** Роль фазового взрыва космического вещества в процессе разрушения метеоритов // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 168—178.
76. **Метеоритные и метеорные исследования.**— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— 236 с.
77. **Метеоритные исследования в Сибири.**— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— 217 с.
78. **Мульдьяров Е. Я., Ланшина Е. Д.** Датировка верхних слоев торфяной залежи, используемой для измерения космических аэрозолей // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 75—84.
79. **Некрасов В. П., Емельянов Ю. М.** Повлияла ли Тунгусская катастрофа на рост леса? // Природа.— 1962.— № 2.— С. 102—105.
80. **Некрасов В. П., Емельянов Ю. М.** Особенности роста древесной растительности в районе падения Тунгусского метеорита // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1963.— С. 59—72.
81. **Несветайло В. Д.** Дендрохронологическое датирование «стояков» района падения Тунгусского метеорита // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 88—94.
82. **Несветайло В. Д., Ковалюх Н. Н.** Динамика концентрации радиоуглерода в годичных кольцах деревьев из центра Тунгусской катастрофы // Метео-

- ритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 141—151.
83. **Ночные** светящиеся облака и оптические аномалии, связанные с падением Тунгусского метеорита // Васильев Н. В., Журавлев В. К., Журавлева Р. К. и др.— М.: Наука, 1965.— 112 с.
 84. **Пасечник И. П.** Уточнение времени взрыва Тунгусского метеорита 30 июня 1908 г. по сейсмическим данным // Космическое вещество и Земля.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986.— С. 62—69.
 85. **Петров Г. И., Стулов В. П.** Движение больших тел в атмосферах планет // Космические исследования.— 1975.— Т. 13, вып. 4.— С. 587—594.
 86. **Плеханов Г. Ф., Васильев Н. В., Демин Д. В. и др.** Некоторые итоги изучения проблемы Тунгусского метеорита // Геология и геофизика.— 1963.— № 1.— С. 111—123.
 87. **Плеханова Л. Г., Драгавцев В. А., Плеханов Г. Ф.** Влияние некоторых экологических факторов на выраженность генетических последствий Тунгусской катастрофы 1908 г. // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 94—98.
 88. **Покровский Г. П.** О взрыве метеорных тел, движущихся в атмосфере // Метеоритика.— 1966.— Вып. 27.— С. 103—108.
 89. **Сапронов Н. Л., Соболенко В. М.** Некоторые черты геологического строения Куликовского палеовулкана нижнетриасового возраста // Проблемы метеоритики.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 13—19.
 90. **Соботович Э. В., Ковалюх Н. Н., Васильев Н. В. и др.** Оценка степени космогенности силикатной составляющей почв из района падения Тунгусского метеорита по радиоуглеродным данным // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 80—87.
 91. **Соботович Э. В., Пивень П. И., Колесов Г. М. и др.** Распространенность некоторых элементов в алмаз-графитовом сростке и других объектах из эпицентра Тунгусской катастрофы // Метеоритика.— 1985.— Вып. 44.— С. 135—138.
 92. **Соляник В. Ф.** Тунгусская катастрофа 1908 г. в свете электрической теории метеорных явлений // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 178—188.
 93. **Сурдин В. Г., Ромейко В. А., Коваль В. И.** К вопросу о Тунгусском метеорите // Астроном. циркуляр.— 1982.— № 1206.— С. 2—8.
 94. **Фаст В. Г.** Статистический анализ параметров Тунгусского вывала // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 40—61.
 95. **Фаст В. Г., Бараник А. П., Разин С. А.** О поле направлений повала деревьев в районе падения Тунгусского метеорита // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 39—52.
 96. **Фаст В. Г., Бояркина А. П., Бакланов М. В.** Разрушения, вызванные ударной волной Тунгусского метеорита // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 62—104.
 97. **Фаст В. Г., Фаст Н. П., Голенберг Н. А.** Каталог повала леса, вызванного Тунгусским метеоритом // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 24—74.
 98. **Фесенков В. Г.** Избранные труды. Метеориты и метеорное вещество.— М.: Наука, 1978.— 250 с.
 99. **Фирсов Л. В., Журавлев В. К., Панычев В. А.** Результаты анализов концентрации радиоуглерода в слоях древесины лиственницы из района Тунгусского падения // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 67—77.
 100. **Флоренский К. П.** Предварительные результаты Тунгусской метеоритной комплексной экспедиции 1961 г. // Метеоритика.— 1963.— Вып. 23.— С. 3—29.
 101. **Флоренский К. П., Вронский Б. И., Емельянов Ю. М. и др.** Предварительные результаты работ Тунгусской метеоритной экспедиции 1958 г. // Метеоритика.— 1960.— Вып. 19.— С. 103—134.
 102. **Фурьев В. В.** Лесные пожары в районе падения Тунгусского метеорита и их влияние на формирование лесов // Проблемы метеоритики.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 72—87.

103. Цикулин М. А. Приближенная оценка параметров Тунгусского метеорита 1908 г. по картине разрушений лесного массива // Метеоритика.— 1961.— Вып. 20.— С. 87—94.
104. Цикулин М. А. Ударные волны при движении в атмосфере крупных метеоритных тел.— М.: Наука, 1969.— 88 с.
105. Цыбал М. Тунгусский метеорит. Версия химика // Химия и жизнь.— 1985.— № 6.— С. 78—84.
106. Цыбал М. Н., Шнитке В. Э. Газовоздушная модель взрыва Тунгусской кометы // Космическое вещество и Земля.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд.-ние, 1986.— С. 98—117.
107. Шаповалова Р. Д., Лукьянова В. Б., Емельянов Ю. М., Некрасов В. И. Биостатистическая обработка лесотаксационных данных из района падения Тунгусского метеорита с использованием критерия знаков // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-га, 1967.— Вып. 2.— С. 137—140.
108. Cowan C., Atluri C. R., Libbi W. F. Possible anti-matter content of the Tunguska meteor of 1908 // Nature.— 1965.— V. 206, N 4987.— P. 861—865.
109. Ganapathy R. The Tunguska explosion of 1908: discovery of meteoric debris near the explosion site and at the South pole // Science.— 1983.— V. 220, N 4609.— P. 1158—1161.
110. Houle F., Wickramasinghe N. C., Al-Mufti S. The case for interstellar microorganisms // Astrophys. and Space Sci.— 1985.— V. 110, N 2.— P. 401—404.
111. Keay C. Electrophonic meteor fireballs // South. Stars.— 1984.— V. 31, N 1.— P. 11—16.
112. Korobeinikov V. P., Chushkin P. I., Shurshalov L. V. Mathematical model and computation of the Tunguska meteorite explosion // Acta Astronaut.— 1976.— V. 33.— P. 615—621.
113. Lerman I. C., Mook W. G., Vogel I. C. Effect of the Tunguska meteor and sunspot on radiocarbon in the tree rings // Nature.— 1967.— V. 216, N 5119.— P. 150—175.
114. Nazarov M. A., Kolesov G. M., Korina M. I. e. a. The Tunguska event: mineralogical and geochemical data // Science.— 1983.— Suppl. XIV.— P. 548—549.
115. Officer Ch. L., Drake Ch. L. Terminal Cretaceous environmental events // Science.— 1985.— V. 227, N 4691.— P. 1161—1167.
116. Rasmussen K. L., Clausen H. B., Risbo T. Nitrate in the Greenland ice sheet in the year following the 1908 Tunguska event // Icarus.— 1984.— V. 58, N 1.— P. 101—108.
117. Schröder W. Die Tunguska katastrophe und die Hoch atmosphärischen Erscheinungen am 30 Juni 1908 // Gerlands Beiträge f. Geophysik.— 1969.— Bd 78, N 6.— S. 443—447.
118. Sekanina Z. The Tunguska event: no cometary signature in evidence // Astronom. J.— 1983.— V. 88, N 1.— P. 1382—1414.
119. Turco R. P., Toon O. B., Parc C., Whitten R. C. e. a. An analysis of the physical, chemical, optical and historical data impacts of the 1908 Tunguska meteor fall // Icarus.— 1982.— V. 50, N 1.— P. 1—52.
120. Zbie M. Morphology of the outermost shells of the Tunguska black magnetic spherules // Proc. 14th Lunar and Planet Sci. Let. Conf.— Houston, 1984.— Pt 2.— P. 605—611.

И. К. Дорошин

К ПОИСКУ ВЕЩЕСТВА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА В ТОРФАХ

С 1969 г. Комплексная самодеятельная экспедиция (КСЭ) занимается поисками сферической фракции вещества Тунгусского метеорита в торфах [11, 12]. К настоящему времени отобрано около 1500

проб торфа как в районе падения Тунгусского космического тела, так и в фоновых районах. Анализ полученного материала не позволил однозначно определить наличие или отсутствие вещества Тунгусского метеорита в отобранных пробах [1, 2], хотя, по предварительным оценкам, методика давала такую возможность [8, 11, 12]. Поиски несферической фракции вещества в торфах также не дали однозначного результата [3, 9, 15].

Вопрос о веществе Тунгусского метеорита имеет первостепенную важность, так как любая модель Тунгусского взрыва, любая интерпретация катастрофы явно или неявно подразумевает определенный вещественный состав Тунгусского метеорита. Отсутствие же надежных данных о веществе приводит к тому, что авторы вынуждены реконструировать состав Тунгусского метеорита в зависимости от своих гипотез [6, 7, 9].

Поиск вещества Тунгусского метеорита в торфах основывался на следующих свойствах мха сфагнум фускум [12].

1. Мох обычно растет группой, образуя как отдельные небольшие кочки, так и крупные торфяники.

2. Поверхность моховых кочек состоит из плотно прижатых друг к другу вершинок стеблей и является преградой для проникновения в глубь дернины аэрозольных частиц, выпавших на ее поверхность.

3. Прирастая вершинками стеблей, мох как бы консервирует аэрозоли в том годовом приросте, когда они выпали на поверхность кочки.

Методика предусматривала отбор вертикальной колонки торфа сечением 100 см² без каких-либо инородных прослоек до глубины 45 см послойно по 3 см, причем первые 6 слоев отбирали суммарно. В дальнейшем слои колонки отмывали на сите с ячейкой 0,25 мм, отмывтый осадок делили на две части, одну из которых либо отжигали химическим способом, либо сохраняли для иных работ, вторую отжигали в муфеле при температуре 400—600°C и затем отсматривали под биноклем с увеличением $\times 56$. Как полагали, прирост 1908 г. расположен на глубине 24—39 см, что соответствует 9—13-му слоям колонки [11, 12].

Обработка материалов по поиску сферической фракции вещества Тунгусского метеорита позволила выявить ряд закономерностей в распределении сферул в торфах. При анализе территориального распределения сферул в междуречье Подкаменной Тунгуски и Чуни были выявлены стабильные зоны обогащения сферическим материалом. Наиболее мощные зоны приурочены к районам пос. Ванавара, устья р. Чепрокон и эпицентра катастрофы. Менее выраженные зоны выделяются в районах пос. Муторай, верховьев р. Корда, бассейнах Верхней и Нижней Лакуры. Зоны обогащения устойчиво повторяются во всех горизонтах торфяной залежи от поверхности и до глубины 45 см. Дальнейший анализ показал, что эти зоны территориально совпадают с районами отбора проб 1969—1974 гг., причем повторный отбор проб в тех же районах в последующие годы не подтвердил наличия аномалий.

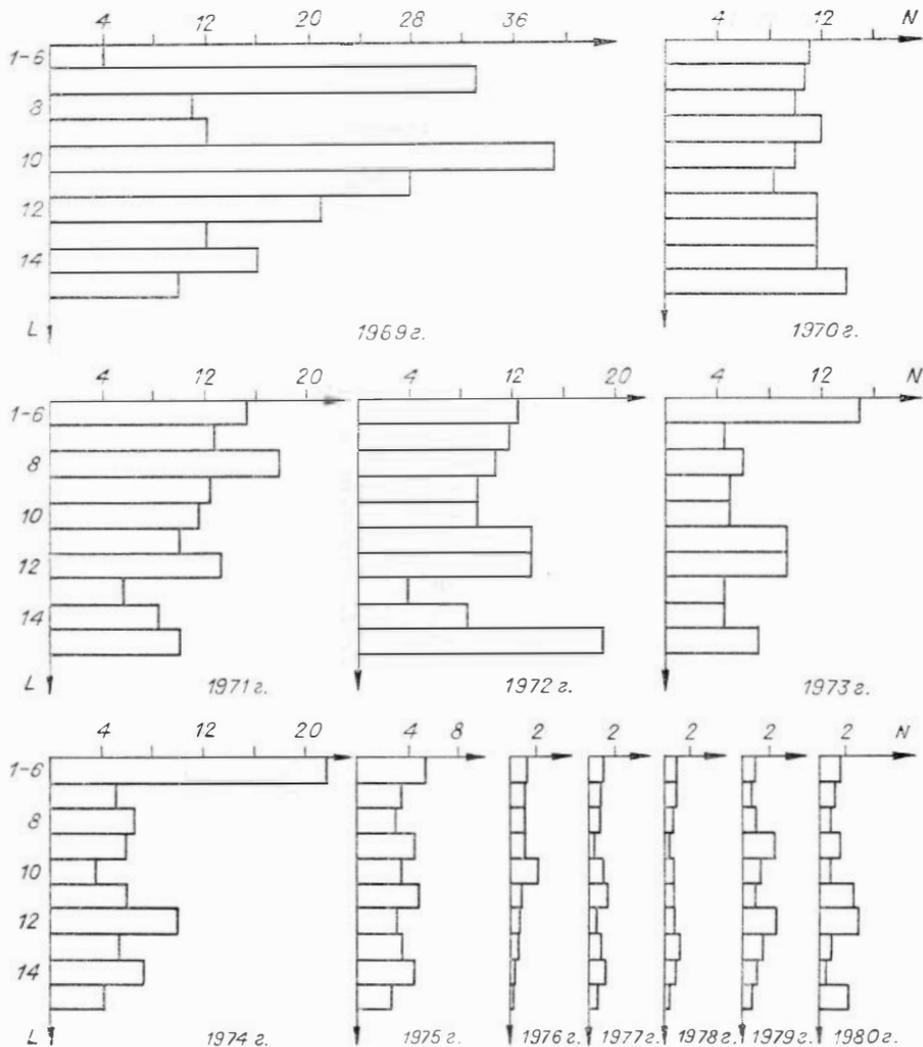


Рис. 1. Распределение среднего числа сферул N по слоям L колонок, отобранных в 1969—1980 гг.

Для проверки взаимосвязи между датой отбора проб и содержанием в них сферул был проведен расчет среднего содержания сферул в слоях колонок отдельно по годам отбора проб. Пробы с числом сферул более 1000 шт., получившие название ураганных, в расчет не брали, но подсчитывали их общее количество и распределение по слоям. На рис. 1 приведены графики послойного распределения сферул в пробах, отобранных в 1969—1980 гг. Можно отметить следующие особенности распределений:

поскольку слой 1—6 содержат примерно в 6 раз больше годовых приростов, чем любой нижележащий, то, по гипотезе аэрозольного

Послойное распределение ураганных проб

Номер слоя	1—6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Количество, шт.	10	6	13	8	9	10	12	10	10	6

происхождения сферул, следовало бы ожидать, что среднее число сферул в них окажется примерно в 6 раз больше, чем в слоях 7, 8 и т. д. Из графиков видно, что только в пробах 1973 и 1974 гг. в слоях 1—6 отмечается превышение числа сферул примерно в 4 раза, в других пробах какого-либо превышения нет;

количество сферул в пробах существенно зависит от даты отбора проб (с 1969 по 1980 г. количество сферул в слоях, постепенно спадая, снизилось в 18 раз);

какой-либо закономерности в послойном распределении сферул не угадывается, за исключением проб 1969 г., отобранных в районе эпицентра. Здесь есть заметное увеличение числа сферул в 10—12-м слоях, которое обычно интерпретируют как выпадение аэрозолей на торф и относят к 1908 г. [1, 2, 9, 11].

Суммарное послойное распределение ураганных значений приведено в табл. 1. В пробах 1969—1974 гг. они встретились 81 раз, в пробах 1975—1980 гг. — 14 раз при соотношении общего количества проб 10 : 6. Таким образом, ураганные содержания шариков встречаются во всех слоях колонки одинаково часто, причем в пробах 1969—1974 гг. в 3,5 раза чаще.

Отнести обнаруженные сферулы к какому-либо фоновому потоку не удалось, так как распределение сферул в слоях не подчиняется закону Пуассона (рис. 2). Кроме того, в пробах, отобранных в нескольких десятках или сотнях метров друг от друга, распределение сферул по слоям различно. В табл. 2 приведено послойное содержание сферул для некоторых проб с указанием расстояния между ними.

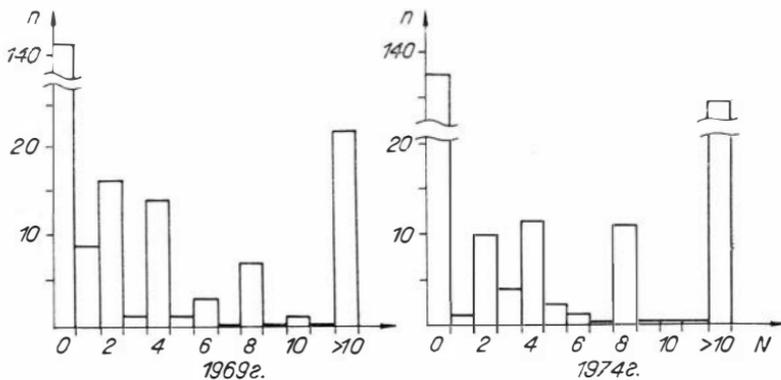


Рис. 2. Частота встречаемости (n) сферул (N) в слоях 7—9 в пробах 1969 и 1974 годов отбора.

Послойное распределение сферул в пробах торфа, отобранных на расстоянии L (м) друг от друга

Номер слоя	Номера колонок и расстояния между ними									
	$L=50$		$L=100$		$L=300$		$L=600$		$L=700$	
	N4	N6065	N30	N30A	N6106	N6158	N309	N4864	N141	N3168
1—6	542	0	—	—	0	16	1	3	—	—
7	314	0	4	16	0	16	608	0	64	4
8	6	0	0	24	24	1600	1728	2	488	0
9	12	4	8	322	4	504	128	0	120	1
10	405	0	150	560	0	288	—	—	96	0
11	1312	0	0	1032	0	1152	1536	0	396	0
12	456	0	0	0	0	320	192	1	420	0
13	9	0	10	256	0	16	—	—	1300	0
14	72	0	—	—	0	96	3456	0	1470	0
15	48	0	0	0	0	0	—	—	240	0

При поисках вещества Тунгусского метеорита кроме термического использовали химическое озонение торфа. Всего химическим способом было озонено около 200 дублей колонок. Коэффициенты корреляции между содержанием сферул в термо- и химозоненных пробах как суммарно для всех проб, так и отдельно по годам отбора близки к нулю. Таким образом, результаты химического озонения проб также не подтверждают аэрозольного происхождения сферул в термоозоненных пробах.

Для объяснения полученных особенностей в территориальном и послойном распределении сферул была проанализирована методика отбора и обработки проб торфа.

Одним из объяснений «исчезновения» сферул была гипотеза о переотложении их в более глубокие горизонты торфяной залежи. Моховая дернина образует как бы естественный фильтр для аэрозольных частиц [11, 12], поэтому трудно допустить отсутствие какого-либо переотложения мелкодисперсной и особенно растворимой компоненты аэрозолей. В самом деле, среднее межволоконное расстояние в дернине — несколько сотен микроп и при определенных условиях частицы меньшего размера могут диффундировать в более глубокие слои залежи. Вопрос о переотложении аэрозолей интересен еще и по той причине, что за последние годы был предпринят ряд попыток найти растворимую компоненту вещества Тунгусского метеорита в торфах [4, 5, 10].

Для проверки переотложения твердых частиц был поставлен эксперимент по следующей методике. На пробу, вырезанную из зоны очеса торфяной кочки, высыпали несколько сотен магнетитовых шариков диаметром от 0,020 до 0,250 мм и поместили ее под душ, имитирующий дождь. После 8 ч полива пробу разрезали на слои по 15 мм, отожгли в муфеле и осмотрели под бинокулярной лупой при увеличении $\times 56$. В табл. 3 приведено полученное распределение шариков по глубине. Переотложение шариков вряд ли возможно

Распределение числа шариков N по глубине L в торфе после 8 ч полива

L , мм	0—15	15—30	30—45	45—60	60—75	75—90	90—105	105—120	120—150
N , шт	280	414	39	30	19	2	0	37	13

в естественных условиях, так как дождевой воды, необходимой для переноса частиц, обычно хватает только на смачивание верхних слоев мха и тока воды, как в описанном эксперименте, не возникает. По-видимому, отдельного исследования требует вопрос о переотложении зимних аэрозолей, проникающих в торф при таянии снегов.

Что касается растворимых аэрозолей, то они могут переотлагаться как вниз (например, с талыми водами), так и вверх (например, по корням растений) [4]. Переотложение растворимых аэрозолей в торфе ограничено сверху поверхностью мохового ковра, а снизу — мерзлотой (для района падения Тунгусского метеорита). Поведение мерзлоты в июле — августе было исследовано по данным об отборе колонок торфа в районе катастрофы. Оказалось более 800 датированных колонок с известной глубиной мерзлоты, и методом наименьших квадратов найдена линейная зависимость глубины мерзлоты от времени для июля — августа:

$$L = 0,38t + 30,0,$$

где L — глубина мерзлоты, см; t — время, сут, считая за нуль 1 июля.

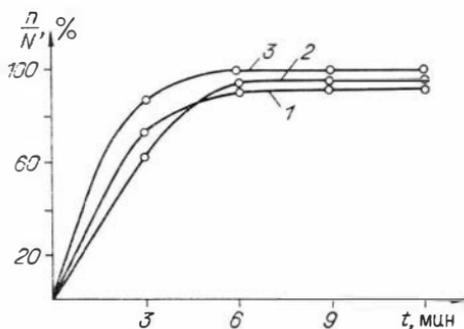
За июль — август мерзлота стаивает в среднем на 24 см, и к концу августа ее уровень понижается примерно до 54 см. Мерзлота в торфе представляет собой сплошной лед с замороженным торфяным волокном без каких-либо пустот, объем же воздушных пустот в торфе над мерзлотой составляет примерно 1/3 от общего объема торфа. Поэтому нарастание мерзлоты к лету на 24 см возможно только при одновременном выпадении и замораживании около 80 мм осадков. Такие условия соблюдаются при весеннем таянии снегов, когда талые воды, проникая в глубь торфяной залежи, вновь замораживаются.

Таким образом, переотложение растворимой компоненты аэрозолей, особенно зимних, возможно до глубины примерно 54 см от поверхности мохового ковра.

Другим объяснением «исчезновения» сферул было предположение о постепенном ухудшении качества отмыва проб торфа, что, вообще говоря, не лишено смысла, так как он проводился вручную и какого-либо контроля за ним методика не предусматривала [11, 12].

Для выяснения качества отмыва был проведен следующий опыт. В пробу торфа засыпали несколько сотен магнетитовых шариков диаметром от 0,020 до 0,250 мм, а затем ее отмывали на сите с ячейкой 0,25 мм четыре раза по 3 мин. Оставшийся на сите торф и осадки от отмывов отжигали в муфеле и отсматривали под бинокулярной

Рис. 3. Зависимость количества выделенных при отмыве шариков от времени отмыва. Размер шариков, мкм: 20—42 (кривая 1), 43—70 (кривая 2), >70 (кривая 3).



лупой при увеличении $\times 56$. На рис. 3 приведены графики зависимости количества отмытых шариков определенного диаметра от времени отмыва. Из графиков видно, что 3-минутного отмыва достаточно для

выделения 60—85% шариков, после 6 мин отмыва количество шариков в осадке может возрасти только на 1/3, и в дальнейшем шарики из торфа уже не выделяются. Нужно отметить одну особенность полученных графиков: шарики меньшего диаметра задерживаются в торфе лучше, чем более крупные. В пользу такого вывода говорит еще и то обстоятельство, что в пробах серии СП (отобранных для спектрального анализа и отожженных без отмыва) в слоях 1—6 обнаружено большое количество магнетитовых шариков диаметром до 10 мкм. Пробы этой серии отобраны на расстоянии десятков километров друг от друга, тем не менее количество магнетитовых шариков в них примерно одинаково и составляет около 400 шт. В пробах, обработанных по обычной методике, такие шарики практически не встречаются.

Третьей причиной «исчезновения» шариков могло быть то, что в первые годы работы по поиску вещества Тунгусского метеорита в торфах отбирали пробы с небольшим вертикальным приростом мха, а в последующие годы — с большим. При этом первые должны содержать больше годовых приростов в слое и соответственно большее количество аэрозолей.

Полевые измерения вертикального прироста мха дали нижнее и верхнее значения соответственно 5,5 и 12,5 мм при среднем приросте по району 8,8 мм. Из 23 измерений прирост менее 6 мм был зарегистрирован в двух случаях, более 12 мм — в одном. Таким образом, изменением вертикального прироста в колонках невозможно объяснить 18-кратное уменьшение числа сферул в торфе.

Вопрос о вертикальном приросте мха интересен еще и по той причине, что он имеет прямое отношение к определению возраста слоев колонки, а следовательно, и к дате выпадения аэрозолей, знание которой существенно облегчает интерпретацию спектральных, активационных и других анализов. Поэтому датировка выпадения аэрозолей является наиболее уязвимым моментом во всей процедуре поиска вещества Тунгусского метеорита в торфах. При отборе проб датировку торфяных горизонтов не проводили из-за ее сложности и трудоемкости. Методика была сориентирована на массовый отбор проб, который позволил бы в какой-то степени снять неопределенность в стратификации торфяных горизонтов. Считалось, что прирост 1908 г. находится на глубинах от 24 до 39 см [11, 12], поэтому 9—

13-й слой колонки получили название «катастрофных» и на них сосредоточилось внимание исследователей [3, 5, 9, 10].

Сложность датировки торфяных горизонтов обусловлена тем, что с глубины 20—25 см стебли мха начинают сминаться под давлением вышележащих слоев мха и линейная экстраполяция возраста становится здесь некорректной. Кроме того, расширение и сжатие мерзлоты при заморозках и потеплениях, а также другие причины приводят к разрывам торфяного волокна в мерзлотных горизонтах торфа и прямой подсчет возраста по годовым приростам стеблей с этого участка невозможен [12, 14].

Оценку глубины залегания прироста 1908 г. проводили следующим образом. В колонках, отобранных по обычной методике [12], измеряли коэффициент уплотнения торфяной массы в каждом слое относительно слоев 1—6 и вычисляли возраст слоев с учетом уплотнения торфа. Коэффициент уплотнения рассчитывали тремя способами: по объему торфяного волокна при сжатии его под прессом до фиксированного давления (в полевых условиях), по сухому весу слоев и по количеству годовых приростов в слоях. Годовые приросты определяли по методике, описанной в [14]. В последнем случае измеряли также вертикальный годовой прирост мха.

В табл. 4 приведены среднестатистические коэффициенты уплотнения торфяной массы для объема, веса и количества годовых приростов в слоях, полученные соответственно по 53, 15 и 23 колонкам торфа. На рис. 4 изображены графики зависимости возраста торфяных горизонтов от глубины, построенные для среднегодового вертикального прироста 8,8 мм и с учетом уплотнения торфа. Здесь показана глубина залегания прироста 1908 г. в момент начала работ по

Таблица 4

Коэффициенты уплотнения торфяной массы K , дисперсии S и глубина нижней границы слоя L (см), рассчитанные для объема (a), веса (b) и количества годовых приростов в слоях ($в$)

а			б			в		
К	S	L	К	S	L	К	S	L
1,00	0,00	3	1,00	0,00	3	1,00	0,00	5
1,00	0,01	6	1,00	0,00	6	1,07	0,04	10
1,00	0,02	9	1,00	0,00	9	1,08	0,06	15
1,01	0,02	12	1,00	0,00	12	1,09	0,05	20
1,02	0,03	15	1,00	0,00	15	1,21	0,06	25
1,03	0,03	18	1,00	0,00	18	1,29	0,06	30
1,12	0,05	21	1,15	0,11	21	1,31	0,07	35
1,18	0,05	24	1,25	0,10	24	1,36	0,07	40
1,27	0,06	27	1,26	0,08	27	1,42	0,08	45
1,38	0,06	30	1,39	0,09	30	1,24	0,13	50
1,48	0,07	33	1,54	0,11	33	1,42	0,49	55
1,61	0,08	36	1,78	0,14	36	1,71	0,02	60
1,63	0,07	39	1,94	0,27	39			
1,81	0,09	42	1,96	0,22	42			
1,86	0,11	45	2,20	0,25	45			
2,15	0,27	48						

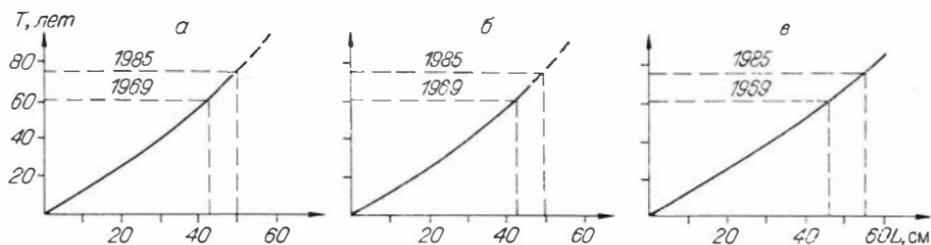


Рис. 4. Зависимость возраста торфяного горизонта от глубины, построенная по измерениям объема (а), веса (б) и количества годовых приростов (в) в слоях колоннок.

поиску вещества Тунгусского метеорита в торфах и в настоящее время.

Данные по измерениям объема и веса торфа практически совпадают. Несколько завышенное значение глубины прироста 1908 г. по ботаническим измерениям можно объяснить тем, что для последних приходилось отбирать пробы с менее разрушенным волокном, зона существенного уплотнения в таких пробах лежит несколько глубже обычного.

Таким образом, глубина залегания прироста 1908 г. в 1969 г. была около 43 см, а к 1985 г. она понизилась до 50 см.

Один из этапов обработки проб — отжиг отмытого осадка в муфеле. Для определения влияния отжига на количество сферул в пробе были проанализированы лабораторные дневники по отжигу и отмотру проб. К сожалению, температуру отжига фиксировали в дневниках крайне редко, так что определить ее влияние на количество шариков в пробе не представилось возможным. Ниже приводятся данные из дневников отжига и отмотра проб.

1. Слой 14 колонки 314 был отожжен в 6 тиглях, при отсмотре в одном из них было обнаружено 100 сферул, в других тиглях сферул не оказалось.

2. В колонке 316 в слоях 8 и 9 найдено 5336 и 1232 сферулы соответственно, при отсмотре неотожженных дублей слоев сферул не обнаружено.

3. В колонке 2011 в слое 16 выявлено 80 000 сферул, при отсмотре неотожженного дубля слоя сферул не наблюдается.

4. Обе половинки колонки 6083-ч были отожжены с интервалом в несколько дней, при отсмотре одной из них в слоях 1—6, 7, 10, 11, 12, 13 обнаружено по несколько сотен сферул, в другой половине пробы сферул нет. Последняя колонка была отобрана, отмыта, отожжена и отсмотрена в течение одного полевого сезона, так что загрязнение одной из половинок пробы промышленными шариками исключается. Отсмотр пробы в обоих случаях проводил один и тот же оператор. Дополнительный контрольный просмотр пятнадцати неотожженных дублей ураганных проб не подтвердил наличия в них сферул.

Выборочный просмотр около сотни отожженных слоев различных проб показал, что практически все сферулы однотипны по своей

структуре и являются полыми образованиями типа скорлупок с тонкой стенкой. Сферулы немагнитные, сравнительно легко разрушаются при надавливании, стенки сферул прозрачны для воды, выполнены из прозрачного или полупрозрачного материала, их толщина составляет $1/3$ — $1/5$ радиуса сферулы. Сферулы всегда несколько неправильной формы, с неровностями, иногда приплюснутые, цвет от прозрачного до черного, размер от 10 до 140 мкм, преобладают сферулы меньших диаметров. Количество таких сферул в пробах самое разное — от сотен тысяч до единиц. В нескольких пробах встретились переходные формы между остатками минерализованных органических волокон и сферулами: нити с утолщениями и каплями на концах, капли, слившиеся сферулы и т. п.

В пробах очень редко и в единичных экземплярах встречаются магнетитовые сферулы идеально круглой формы размером 20 мкм и более, скорее всего метеоритного происхождения.

На основании этих данных можно сделать вывод, что большая часть обнаруживаемых при отсмотре проб сферул образовалась во время отжига из минерализованных органических волокон. Для выяснения термических условий генерации сферул при отжиге необходимо провести натурный эксперимент.

Автор благодарит С. Б. Дорошину, Ю. И. Калинина, А. Г. Стебницкого, Т. А. Менявцеву за участие в полевых работах, Т. М. Наприенко, С. А. Афримзон, Т. И. Чернову за проведение ряда лабораторных экспериментов, В. А. Воробьева и Ю. А. Львова за ценные критические замечания, высказанные при обсуждении данной статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бояркина А. П., Васильев Н. В., Менявцева Т. А. и др. К оценке вещества Тунгусского метеорита в районе эпицентра взрыва // Космическое вещество на Земле. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. — С. 8—15.
2. Васильев Н. В. Состояние проблемы Тунгусского метеорита на начало 1974 г. // Проблемы метеоритики. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние. — С. 3—12.
3. Васильев Н. В., Алексеева К. Н., Горбатенко В. П. Особенности элементного состава сфагновых торфов района падения Тунгусского метеорита // Метеоритные и метеорные исследования. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. — С. 129—138.
4. Васильев Н. В., Бояркина А. П., Пресс К. Ф. и др. Статистическая обработка данных спектрального анализа торфа в районе падения Тунгусского метеорита // Метеоритные и метеорные исследования. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. — С. 122—129.
5. Голенецкий С. П., Степанок В. В., Мурашов Д. А. К оценке докатастрофного состава Тунгусского космического тела // Астроном. вестник. — 1981. — Т. 15, № 3. — С. 167—173.
6. Журавлев В. К., Дмитриев А. Н. Гелиофизическая гипотеза природы Тунгусского феномена // Метеоритные исследования в Сибири. — Новосибирск, Наука. Сиб. отд-ние, 1984. — С. 128—141.
7. Зигель Ф. Ю. К вопросу о природе Тунгусского тела // Метеоритные и метеорные исследования. — Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983. — С. 151—161.

8. **Кириченко Л. В.** К вопросу образования локального следа выпадений от взрыва космического тела в 1908 году // Проблемы метеоритики.— Новосибирск, Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 111—126.
9. **Колесников Е. М.** О некоторых вероятных особенностях химического состава Тунгусского космического тела // Взаимодействие космического вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 87—102.
10. **Колесников Е. М., Шестаков Г. И.** Изотопный состав свинца из торфов района Тунгусского взрыва 1908 г. // Геохимия.— 1979.— № 8.— С. 1202—1211.
11. **Львов Ю. А.** О нахождении космического вещества в торфе // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 140—144.
12. **Львов Ю. А.** Методика отбора и обработки торфа для выделения мелкодисперсной минеральной фракции // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 90—93.
13. **Львов Ю. А.** Углерод в составе Тунгусского метеорита // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 83—88.
14. **Мульдияров Е. О., Лапшина Е. Д.** Датировка верхних слоев торфяной залежи, используемой для изучения космических аэрозолей // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 75—84.
15. **Соботович Э. В., Квасница В. Н., Ковалюх Н. Н.** Новое свидетельство вещественности Тунгусского тела // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 138—141.

М. Н. Цынбал, В. Э. Шнитке

ОБ ОЖОГЕ И ПОЖАРЕ В РАЙОНЕ ПАДЕНИЯ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Несмотря на шестидесятилетние исследования, до сих пор не стихают споры о действительных и мнимых эффектах падения Тунгусского метеорита, прямых или косвенных последствиях этого события.

Бесспорно, к действительным эффектам можно отнести лишь ударную волну, прямым следствием которой явились вывал леса на площади свыше 2000 км², мощные барические и сейсмические возмущения, а также значительное выделение лучистой энергии, вызвавшее ожог деревьев и пожар на площади немногим меньшей, чем вывал леса.

Характер этих последствий имеет важное значение для понимания механизма взрыва и решения проблемы Тунгусского метеорита. Знание их позволит установить хотя бы приближенные количественные соотношения между различными сторонами этого уникального явления, без учета которых не должна строиться ни одна его модель.

ОСОБЕННОСТИ ОЖОГА И ПОЖАРА

Неоднократно останавливался на особенностях ожога деревьев, переживших катастрофу, и его отличиях от поражений при обычных лесных пожарах Л. А. Кулик. Так, в статье, где кратко подводятся

итоги первых десяти лет исследования, он писал: «Вся центральная площадь несет следы ожога; ожог распространяется и дальше, на 15—20 км от центра, постепенно ослабевая; сильнее обожжены части деревьев, обращенные к центру; вершины стоящих на корню деревьев и их остатков всегда обожжены сверху, и, наконец, место излома у деревьев и кустов всегда обожжено („нет излома без ожога“)» [47, с. 522].

Л. А. Кулик был убежден, что обычным пожаром ни в коем случае нельзя объяснить целый ряд наблюдавшихся особенностей поражения деревьев:

1. Комбинация излома по живой древесине с одновременным, в общем равномерным, ожогом всего дерева и ожогом излома — обязательно. Земной пожар подобной картины не дает. Это явление наблюдается повсюду на центральной площади бурелома радиусом приблизительно в 15 км.

2. В центральной части радиального бурелома, измеряемой радиусом в 10—15 км, обязателен ожог верхушек деревьев, если только они не были укрыты местностью или особенно высокой и густой тайгой.

3. Ожог центральной площади бурелома поражает своей сплошностью: он охватил и горы, и долины, и болота, и изолированные водой участки суши.

4. Степень ожога является исключительно однообразной и неизменной и на горах, и на отдельных деревьях среди огромных болот, и в долинах, и на изолированных водой участках суши, и на берегах рек, отделенных друг от друга широкими плесами.

5. Ожог чрезвычайно характерен: умерщвлены кроны (камбиальной слой — при наличии тонкой коры) и обуглены места, не защищенные или плохо защищенные корой и камбием (поверхности излома веток, вершин и пр.).

6. В районе ожога совершенно уничтожены: береза, осина, ольха, а в центре и сосна (исключения — единицы).

7. В некоторых случаях деревья обожжены целиком: от вершины до корневой системы включительно; предполагается, что все эти деревья выброшены взрывным действием газов» [48, с. 19].

Л. А. Кулик считал, что ожог растительности вызван не пожаром, а «ураганом раскаленных газов». В описании своих первых впечатлений от посещения района катастрофы в 1927 г. он писал: «Струю огненной из раскаленных газов и холодных тел метеорит ударил в котловину с ее холмами, тундрой и болотом и, как струя воды, ударившись о плоскую поверхность, рассеивает брызги на все четыре стороны, так точно и струя из раскаленных газов, с роем тел, вонзилась в землю и непосредственным воздействием, а также и взрывной отдачей произвела всю эту мощную картину разрушения...» [46, с. 15].

Однако участники комплексной экспедиции КМЕТ 1961 г., в составе которой были и специалисты-пожароведы, не разделяли мнения Л. А. Кулика о том, что ожоговые поражения деревьев вызваны в основном мгновенным действием раскаленных газов, не повлекшим

большого пожара. Было установлено, что отдельные сухостойные пни и деревья совершенно отчетливо несут следы длительного горения, т. е. мгновенный ожог стволов оказался замаскирован последствиями возникшего затем лесного пожара и установить точную причину ожогового поражения не всегда возможно. Но характер выгорания древесины стоящих деревьев показывает, что на многих участках огонь охватывал еще сырые, но уже обломанные деревья. Это видно по типичному выгоранию дерева отдельными ямками около скоплений смолы (сухие деревья обгорают более равномерно). Однако установленная Л. А. Куликом закономерность «нет излома без ожога» в общем была подтверждена: вблизи центра разрушения многие старые изломы сучьев действительно несут следы ожога. Это, по мнению участников экспедиции 1961 г., четко определяет последовательность явлений, при которых ожог произошел после действия ударной волны [73].

В 1960 г. участники Комплексной самодеятельной экспедиции, изучая деревья, пережившие катастрофу, в центральной части зоны вывала (в районе Северного и Южного болот), обнаружили, что многие из них имеют специфические поражения стволов и вершин, которые удается выделить на фоне поражений, вызванных пожаром 1908 г. или других лет: прямые вертикальные щели, идущие от основания дерева до высоты 2—3 м, глубина которых иногда достигает величины радиуса ствола; закручивающиеся щели, начинающиеся от основания дерева или выше и имеющие от 2 до 7 м длины; прямые щели длиной 10—30 см в верхней части ствола. Хотя строгая ориентация повреждений отсутствует, большинство из них обращено к центру катастрофы [30].

Другим специфическим повреждением живых деревьев района катастрофы является поражение ветвей, которое ботаники и фитопатологи квалифицировали как термическое поражение камбия [29, 31]. Повреждение заключается в отмирании узкой полосы древесины ветвей в части, обращенной вверх, или несколько на боковой их стороне в результате одновременного и внезапного отмирания коры на этих участках. Во многих случаях отмирали и концы ветвей.

Еще одно специфическое поражение деревьев хвойных пород, переживших катастрофу, — так называемое «рыхлое кольцо» — недоформленное годичное кольцо 1908 г., замена летнего и осеннего слоев новым мощным слоем крупных весенних клеток, что, по-видимому, объясняется тем, что в середине лета 1908 г. дерево пережило как бы вторую весну: на нем появилась хвоя взамен погибшей в момент катастрофы. Возможно, что это поражение связано не только с термическим воздействием на хвою (в том числе во время лесного пожара), но и со срывом кроны взрывной волной [19, 53, 62].

Лесной пожар в районе катастрофы 1908 г. имеет особенность на первый взгляд парадоксальную. Известно, что в центре района термических поражений сохранилось большое количество деревьев, переживших катастрофу. Вокруг Северного и Южного болот выявлено более 80 групп живых деревьев, в основном лиственниц, но иногда среди них встречаются кедры, ели и сосны [30], причем два

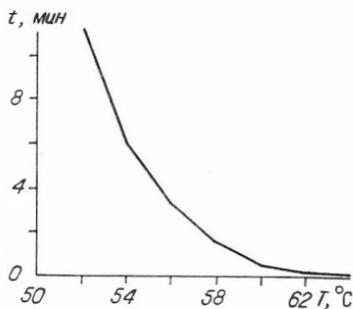


Рис. 1. Термическая устойчивость хвой сосны, ели и кедра [78].

кедра находятся на берегу Южного болота всего в 2 км от эпицентра, под которым мы в данной работе будем понимать область на поверхности Земли, расположенную непосредственно под «эффективным центром свечения», выявленным В. А. Воробьевым и Д. В. Демным [18].

На рис. 1 приведены данные опытов Р. М. Нельсона, по которым хвоя сосны, ели и кедра при нагревании до 60°C менее 1 мин отмирает и деревья этих пород, потерявшие хвою, погибают [78]. Поскольку в зоне лесного пожара температура существенно выше, остается предположить, что в центре района, на расстоянии 2—3 км от эпицентра, пожара не было, а поражения стволов и вершин деревьев, упоминавшиеся ранее, не являются пожарными подсушинами, а вызваны кратковременным потоком лучистой энергии или горячих газов из области взрыва.

Но, с другой стороны, кора вокруг трещин стволов у многих деревьев оказалась обугленной [30], хотя для этого требуется в несколько раз больший тепловой импульс, чем для уничтожения хвой и воспламенения опада.

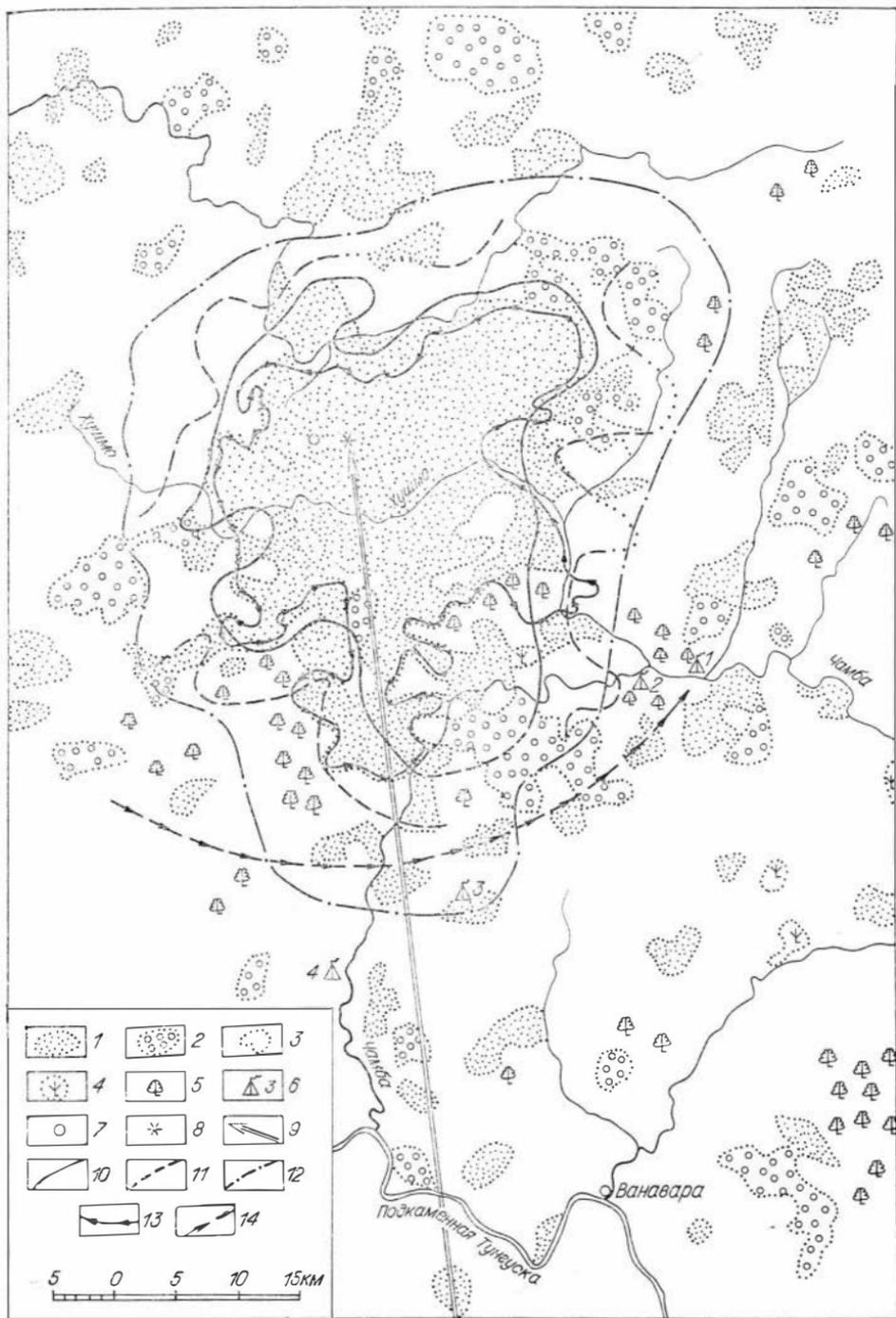
ГРАНИЦЫ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ЛЕСА И ИХ СВЯЗЬ С ГРАНИЦАМИ ВЫВАЛА

Вывал леса, вызванный ударной волной Тунгусского взрыва, изучен достаточно подробно [9, 69—73]. На рис. 2 приведены его границы по [69] и показана особая точка вывала, в которой ударная волна впервые достигла земной поверхности. Не вдаваясь подробно в проблему вывала леса, остановимся лишь на одной его особенности.

Обследуя район поражений, Н. П. Курбатский обратил внимание на то, что у большинства вываленных деревьев нет земляного вала у корня. Когда ветер вываливает живые деревья, то вместе с крупными корнями из земли выкорчевываются и мелкие, на которых

Рис. 2. Схема размещения молодого леса и границ области вывала и пожара в районе падения Тунгусского метеорита.

1 — лес в возрасте 40 лет и моложе, кроме молодых березняков [73]; 2 — лес старше 40 лет с примесью 40-летнего [73]; 3 — лес старше 40 лет [73]; 4 — новые гари [73]; 5 — березняки [73]; 6 — места стоянок очевидцев падения: 1 — чум Акулины и Василия [67], 2 — чум С. И. Онкоуля [67], 3 — чум детей Подыги [67], 4 — чумы Аксеновых и Даоновых [16]; 7 — особая точка поля направлений повала деревьев по В. Г. Фасту [69]; 8 — «эффективный центр свечения» по В. А. Воробьеву и Д. В. Демину [18]; 9 — траектория полета Тунгусской кометы по И. С. Астаповичу [6]; 10, 11 — границы областей, в которых плотность распределения старых деревьев, переживших катастрофу 1908 г., составляет 5 (10) и 35 (11) деревьев на 0,25 га [69]; 12, 13 — границы вывала по В. Г. Фасту [69] (12) и пожара 1908 г. по В. Г. Бережному и Г. И. Драпкиной [8] (13); 14 — предполагаемая граница области, в которой возникли отдельные очаги пожара,



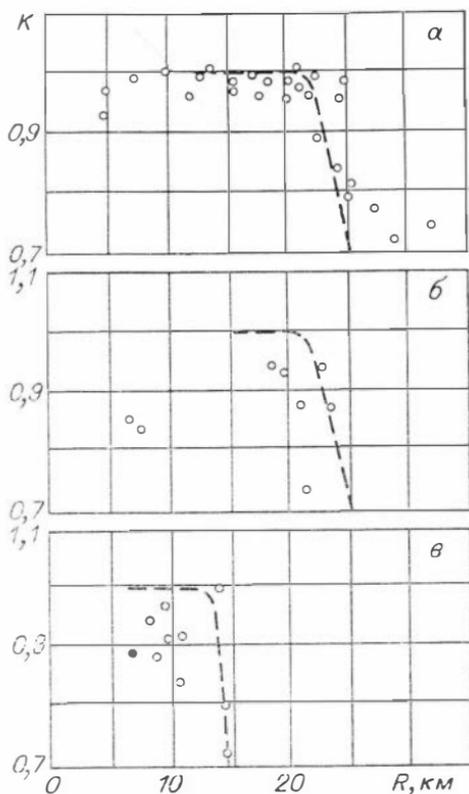
сохраняется много земли. Позднее земля постепенно осыпается, образуя большой вал у шейки корня упавшего дерева. Мелкие корни дерева, поднятые вверх и освобожденные от земли, гниют медленно и долго сохраняются. Деревья, вываленные с мертвыми и уже сгнившими корнями, не имеют этих признаков, что и характерно для вывала в районе катастрофы. Н. П. Курбатский высказал мнение, что в результате пожаров в междуречье Чамбы и Кимчу около 1780, 1820 и 1870 гг. первобытная тайга погибла и на горях к 1908 г. вырос новый лес, которому к моменту катастрофы было 40—80 лет. Остатки древостоев первобытной тайги, погибшей в прошлом столетии, продолжали стоять в виде мертвых сухих стволов и высоких пней, постепенно вываливаясь и разрушаясь. И при взрыве 1908 г. эти мертвые, сильно подгнившие стволы образовали значительную часть вывала. При возникшем же при взрыве пожаре погиб сравнительно молодой лес, не вываленный взрывной волной и большей частью сохранившийся до настоящего времени в виде сухостоя (т. е. «телеграфного леса») [49, 60].

К такому же выводу пришел и В. В. Фурьев, подтвердив его рассмотрением пробной площади 14-З, расположенной в 10—12 км к западу от Изб Кулика, на границе вывала, Эта площадка была охвачена пожарами 1780 и 1820 гг., но в 1870 и 1908 гг. на ней пожара не было. В результате взрыва произошел лишь незначительный направленный вывал деревьев старого поколения, подгнивших и ослабленных двумя предшествующими пожарами (основная масса погибших деревьев была вывалена на землю задолго до 1908 г.). Незначительность вывала В. В. Фурьев объясняет тем, что молодое поколение древостоя имело к моменту катастрофы возраст около 90 лет, для которого характерна наибольшая устойчивость к механическому воздействию. И хотя эта пробная площадь находится всего в 10 км от особой точки вывала, в 1908 г. она практически не пострадала [74].

Если верно предположение Н. П. Курбатского о том, что вывал в значительной степени состоит из деревьев, погибших еще до 1908 г., но стоявших на корню, то зона массового вывала должна иметь по крайней мере три характерные особенности: 1) ее контур должен быть коррелирован с границами старых гарей, т. е. с естественными преградами для распространения предшествовавших 1908 г. пожаров (с речной сетью, болотами и т. д.); 2) на границе этой зоны должно быть падение величины так называемого коэффициента повала — отношения количества поваленных взрывом деревьев к количеству стоявших до катастрофы на этой же площадке живых и мертвых деревьев [9]; 3) изменение коэффициента повала с расстоянием от особой точки вывала не должно быть коррелировано в зависимости от изменения этого же расстояния от величины перепада давления во фронте ударной волны.

Исследование связи границ различных зон вывала с речной сетью легко можно провести, используя данные работы В. Г. Фаста [69]. На рис. 2 нами нанесены на карту лесов района падения [73] границы сплошного вывала, зоны с плотностью распределения старых

Рис. 3. Зависимость коэффициента повала от расстояния до особой точки вывала для направлений на северо-восток [9] (а), восток (б), юг (в).



деревьев, переживших катастрофу, $5 \times 0,25$ га (принятой нами за зону массового вывала) и участки границы зоны вывала с плотностью распределения старых деревьев, переживших катастрофу, $35 \times 0,25$ га. Расстояние между последними двумя границами и есть участок, на котором произошло падение коэффициента повала.

Граница зоны массового вывала тяготеет к речным преградам, ограничивавшим распространение пожаров в междуречье Чамбы и Кимчу: на севере — к р. Кимчу, на северо-востоке — к юго-восточному притоку р. Кимчу и северному притоку руч. Укагиткон, на востоке — к северному притоку руч. Укагит и р. Хушмо от устья руч. Укагит до устья руч. Хавыкон, на юго-востоке — к р. Чамба (хотя на рис. 11 работы [69] этот участок границы условно проведен на 5 км южнее Чамбы, судя по соответствующей изолинии на рис. 8 этой же работы, его следует провести по Чамбе), на юго-западе — к р. Макикта, затем южному притоку руч. Чавидокон и р. Хушмо до устья руч. Пакуми, на северо-западе — к южному притоку руч. Чеко. Вряд ли такое хорошее совпадение границы зоны массового вывала с речной сетью можно объяснить особой формой взрывной волны.

На рис. 2 видно, что зону массового вывала, в которой коэффициент повала близок к 1, опоясывает зона шириной 2—5 км, где количество уцелевших деревьев резко возрастает с 5 до 35 деревьев на 0,25 га. Как правило, эта узкая полоса находится уже за пределами естественных преград, препятствовавших распространению лесных пожаров, и, в соответствии с гипотезой Н. П. Курбатского, количество пострадавших при предшествующих пожарах и к 1908 г. мертвых деревьев, вываленных при взрыве 1908 г., в ней значительно меньше.

Зависимость коэффициента повала от расстояния до особой точки вывала исследована в работе А. П. Бояркиной и др. [9]. На рис. 3 приведены взятая из этой статьи кривая изменения с расстоянием величины коэффициента повала для сектора, заключенного между

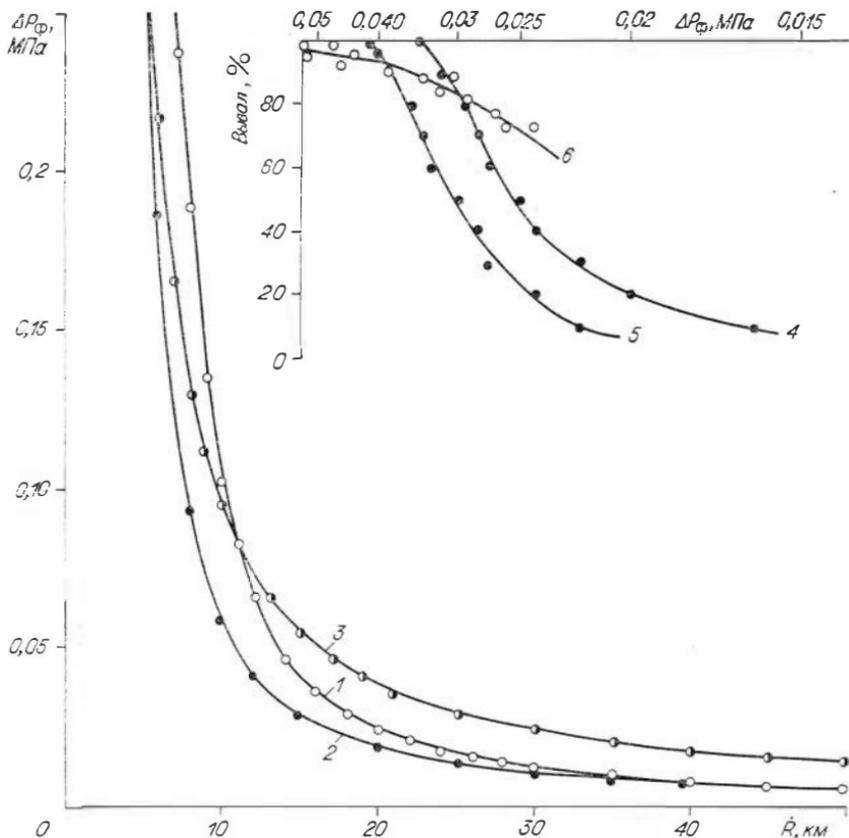


Рис. 4. Падение избыточного давления на фронте ударной волны при взрыве облака газозвушной смеси сферической (1), полусферической радиусом 1 км (2) и цилиндрической (3) форм. В верхней части рисунка сопоставляется коэффициент повала типичных лесов при действии избыточного давления ударной волны (кривые 4 и 5) с изменением коэффициента повала по мере удаления от особой точки вывала (кривая 6).

азимутами 60° и 78° , т. е. северо-восточного крыла зоны массового вывала, и рассчитанные нами по данным каталогов [70, 71] аналогичные кривые для направлений на восток и юг. Из сравнения рис. 2 и 3 видно, что коэффициент повала снижается от 0,95 до 0,75 при подходе к юго-восточному притоку р. Кимчу (24 км от особой точки вывала) и северному притоку руч. Укагиткои (27 км от особой точки вывала).

На рис. 4 для сравнения приведена зависимость изменения скачка давления на фронте ударной волны от расстояния и хорошо видно, что изменение величины коэффициента повала связано не с падением мощности ударной волны, а с изменением характера леса. На рис. 4 нанесена кривая теоретического изменения коэффициента повала, рассчитанная нами для хвойного леса средней полноты,

произрастающего на тяжелом грунте в неблагоприятных почвенно-климатических условиях (по материалам работы [56]). Несоответствие теоретической кривой фактическим данным, по-видимому, и объясняется наличием к 1908 г. в зоне катастрофы большого количества стоявших мертвых деревьев.

Таким образом, хотя в утверждении Н. П. Курбатского, что «при взрыве произошел вывал мертвых, сильно подгнивших стволов первобытной тайги, погибшей от пожаров в прошлом столетии» [49, с. 171], имеется явное преувеличение и его вряд ли можно отнести ко всей площади вывала (достаточно взглянуть на неоднократно публиковавшиеся фотографии 1928—1930 гг. сплошного вывала в центральной части района), но в формирование контура области вывала, особенно северо-восточного и юго-восточного крыльев, это обстоятельство должно было внести свой вклад. Однако в большинстве работ это до сих пор не учитывается. Границу области вывала, хотя об этом прямо и не говорят, обычно отождествляют с изобарой, что на самом деле совершенно не очевидно. А попытки моделировать взрывную волну, вызывающую вывал, в виде «бабочки» (см., например, [13, 34, 43]) по меньшей мере сомнительны.

Исследование границ области пожара представляет большой интерес по ряду причин: во-первых, знание границ позволит еще раз косвенно проверить правильность мнения Н. П. Курбатского о вкладе в картину вывала и пожара 1908 г. пожаров прошлого века; во-вторых, зная границы зоны пожара и тепловой импульс, необходимый для его возникновения, можно оценить достоверность той или иной гипотезы физической картины взрыва; в-третьих, если удастся выделить внутри области распространения пожара зону его первичного возникновения под воздействием светового или теплового импульса, то можно попытаться определить форму и размеры взорвавшегося космического тела или газовоздушного облака, образовавшегося при его испарении.

В 1961 г. с целью хотя бы приближенно выяснить возможные условия распространения горения на обширной лесной территории в конце июня 1908 г. Н. П. Курбатский провел наблюдения за влажностью горючих материалов и произвел пробные зажигания на горе Стойкович. В тот же год дождливый период закончился 21 июня и в последующие две недели дождя не было. Днем температура воздуха повышалась до 25—30°C, влажность лишайников, мхов и лесного опада в древостоях на склонах всех экспозиций сильно понижалась. С 27 июня по 2 июля около 8 ч утра она была на уровне 32—50%, а днем падала до 15—19%. В таких условиях днем после 13 ч горение распространялось по напочвенному покрову со скоростью 1—1,5 м/мин, а при ветре скорость увеличивалась до 2—3 м/мин. Однако, как отмечает Н. П. Курбатский, влажность сфагновых болот и бугристых торфяников оставалась достаточно высокой и на них огонь распространяться не мог [49].

Исследования точных границ лесного пожара 1908 г. пока не завершены. В своей работе мы ориентировались на данные В. Г. Бережного и Г. И. Драпкиной, полученные ими по материалам аэро-

фотовизуального обследования, путем анализа карты лесов района, в основу которой положены преобладающие возрасты древостоев, и лишь частично по натурным исследованиям [8]. Поэтому отдельные участки границы пожара, по-видимому, еще будут уточняться.

В. Г. Бережной и Г. И. Драпкина дают такое описание границ распространения пожара 1908 г.: «Северная граница проходит на восток от оз. Чеко, значительно южнее р. Кимчу, затем выходит к Кимчу, огибает бассейн ручья Ямоко в его верхнем течении, продолжается до р. Хушмо и далее — по ее правому берегу, переходя на левый берег только в районе пробной площади 8-ЮВ. Отсюда граница района пожара поворачивает на запад к бассейну ручья Огне, проходит вдоль по р. Чамбе до устья Макикты и, обогнув с севера гору Шахорма, выходит на западе к устью Чавидокона и к оз. Чеко» [8, с. 164—165].

Далее авторы отмечают, что «наличие большого количества сухости и сухой покров послужили причиной распространения пожара на огромной территории. Значительной силы пожар достиг в юго-восточном и восточном направлениях, где по повышенным частям рельефа в сухих типах леса в почве наблюдается значительный пожарный слой, почти повсеместно отсутствует предварительное возобновление и вывал сильно разрушен пожаром. Конфигурация пожарища частично объясняется площадью массового вывала, по которому распространялся пожар» [8, с. 165].

И действительно, на рис. 2 видно соответствие между границами зоны массового вывала и пожара. На практическое совпадение этих границ указывали еще Л. А. Кулик и Е. Л. Кривов [45], а К. П. Флоренский и другие [73] объяснили это тем, что горело именно нагромождение поваленных деревьев, на наш взгляд *сухих* и уже подгнивших, так как для воспламенения свеживываленных живых деревьев требуется в 3—4 раза более мощный тепловой импульс.

К такому же выводу пришел Н. П. Курбатский, который отмечал, что большая захлапленность леса гнилыми остатками первобытной тайги — следами предшествующих пожаров — способствовала усилению низового пожара, возникшего от радиационного нагрева на небольшой площади, развитие и переходу его в верховой [49].

На рис. 2 отражены тенденция пожара распространиться до пределов вывала и то, что во многих местах он был остановлен естественными преградами — Западным болотом, реками Кимчу, Хушмо, Чамба, руч. Чавидокон, заболоченными низинами и т. п. Не вызывает сомнения, что границы зоны сплошного пожара сформированы речной сетью и естественными преградами.

Но кроме этой зоны при оценке тепловой обстановки в районе катастрофы необходимо учитывать возникновение локальных очагов пожара на значительном удалении от эпицентра. Известны по крайней мере две отдаленные от эпицентра точки, в которых тепловой импульс оказался достаточным для воспламенения опада и сухих веток и возникновения очага низового пожара: устье р. Дюлюшма, где стоял чум Акулины, и устье р. Хушмо, где находился чум Степана Ильича Онкоуля [16, 45, 67]. Эти точки отстоят от эпицентра

на расстоянии 33—34 км (см. рис. 2). И хотя предпринятая несколько лет назад попытка выявить следы пожара 1908 г. в устье р. Хушмо успехом не увенчалась, показания очевидцев об этих пожарах сомнения не вызывают, так как они были подтверждены участниками Мунняка на Стрелке — Чуне в марте 1926 г. [67]. По-видимому, речь шла о небольших очагах возгорания подстилки и сухих веток, не оставивших существенных следов. И тем не менее они представляют для нас большой интерес как своеобразный индикатор тепловой обстановки в этом районе в момент взрыва.

Трудно предположить, что эти две точки возникновения локальных очагов пожара были единственными вне области, очерченной В. Г. Бережным и Г. И. Драпкиной. Очевидно, для пожара, так же как и для вывала, существуют две зоны — зона сплошного пожара, описанная ранее, и зона, где пожар возник отдельными очагами, но не слился в единый, не перешел в верховой и в основном, как рассказывают очевидцы, прекратился сам собой в тот же или на следующий день.

Границы этой зоны локальных пожаров очертить пока невозможно. Кроме указанных двух точек известно упоминание очевидцев еще о двух, в которых воспламенения не произошло: это среднее течение р. Ховоркикта, где стоял чум детей Подыги (37 км от эпицентра) [67], и устье р. Якукта, где было 4 чума (43 км от эпицентра) [16]. Конечно, четырех точек недостаточно для проведения границы второй зоны пожара. На рис. 2 она проведена условно, только в южной части района на расстоянии 35 км от эпицентра.

Границы области ожога ветвей лиственниц также имеют большое значение для понимания природы и моделирования взрыва. К сожалению, работа по их установлению еще не завершена. Обзорная статья Ю. А. Львова и Н. В. Васильева [53] и пока не опубликованный каталог ожоговых поражений ветвей деревьев, переживших катастрофу [40], содержат лишь часть собранного материала. Отсутствие подробной публикации материалов по ожогу ветвей приводит к досадным недоразумениям. Так, например, в работе [53] на рисунке области распространения ожога приведен его масштаб и проведена горизонтальная ось, названная осью симметрии (что само по себе непонятно, так как она не отражает симметрии внутренней структуры поля ожоговых поражений и это хорошо видно из сравнения с помещенной в том же сборнике работой [18]), на которой отмечено расстояние 6 км. Видимо, пользуясь указанным масштабом, авторы работ [42—44] находят точку $x = 0$, восстанавливают из нее перпендикуляр и принимают пересечение осей за особую точку вывала, хотя в действительности это, скорее всего, пересечение Западной и Северной просек на горе Мухин, отстоящее от особой точки вывала на 2,6 км к северу-востоку. И если изменить начало координат на рис. 9 работы [42] и рис. 7 работы [44], то такого хорошего совпадения теоретической и реальной картин лучистого ожога уже не получится. Заметим, что принятая в [42] плотность теплового потока, необходимая для ожога ветвей, необоснованно завышена в несколько раз по сравнению с экспериментальными дан-

ными, полученными в Институте леса и древесины им. В. Н. Сукачева [50], а протяженность зоны ожога в восточном направлении принята меньшей, чем в действительности (см., например, [18]).

Основные данные по оконтуриванию области ожога были получены в 1963—1965 гг. под руководством А. Г. Ильина [19]. Было установлено, что поражения длиной 10—100 см на ветках диаметром более 3—5 мм (т. е. уже покрытых тонкой корой) вписываются в окружность радиусом около 8 км с центром в области максимальной освещенности, сдвинутой примерно на 2,5 км к востоку — юго-востоку от особой точки вывала. Исключение составляют поражения в восточно-юго-восточном направлении, которые специально исследовались в 1968 г. [18]. Было установлено, что в этом направлении зона ожога простирается на 16 км к востоку от особой точки вывала (т. е. на 13,5 км от эпицентра ожога), но ожог здесь значительно слабее, чем в других районах: пораженные ветви составляют менее 5% от общего числа сохранившихся ветвей, переживших катастрофу, диаметр пораженных участков не превышает 3 мм, а длина пораженного участка составляет лишь 3—5 см на самом конце ветки. Возможно, как предположили В. А. Воробьев и Д. В. Демин [18], что это сектор полосовой зоны слабого ожога, которая окружает всю центральную область, что характерно и для других видов поражений — вывала и пожара. К сожалению, в других направлениях поиски следов слабого ожога не проводились.

Важную, но довольно сложную задачу представляет собой выявление внутренней структуры поля ожоговых поражений и пространственной локализации гипотетического источника этих поражений. Впервые попытались ее решить Г. М. Зенкин и А. Г. Ильин [31]. В качестве характеристики поражения они приняли векторную величину — угол наклона плоскости поражения ветки от вертикали. Пространственные координаты источника определялись методом наименьших квадратов, как точки, сумма квадратов расстояния от которых до плоскости поражения минимальна. По результатам замеров 13 деревьев (19 веток), координаты источника поражений составили, км: $x = 38,60 \pm 0,30$; $y = 22,10 \pm 0,35$; $h = 4,80 \pm 0,55$; где x, y — координаты в системе, описанной в [70], а h — высота над поверхностью Земли.

Однако дальнейшие исследования показали, что выбор в качестве характеристики поражения угла наклона его плоскости был неудачным, так как в процессе роста ветки разворачиваются, что вносит в замеры, произведенные через 60—70 лет после поражения, существенную случайную погрешность, учесть которую невозможно [18, 64]. В. А. Воробьев и Д. В. Демин использовали в качестве характеристики поражения максимальный диаметр пораженной ветки, считая его в первом приближении пропорциональным потоку энергии [18]. Для определения координат эффективного источника поражений они приняли нетрадиционный метод корреляционных структур, предложенный Д. В. Деминим для решения задач выделения слабых аномалий [15, 23].

Если принять в качестве источника излучения точку с координатами, заданными вектором ω , и определить интенсивность пораже-

ния (максимальный диаметр пораженной ветки) в точке на плоскости, заданной вектором r_i , то для любой пары векторов ω и r_i может быть определен фактор взаимодействия — геометрическое расстояние от источника до точки r_i : $d_2(\omega) = |\omega - r_i|$.

Фактор взаимодействия $d_i(\omega)$ и интенсивность эффекта в данной точке $s(r_i) = s_i$ трактуются как статистически взаимосвязанные случайные величины, эмпирические распределения которых определены для каждого ω : $p[d_i(\omega)]$, $p[s_i]$, $p[d_i(\omega), s_i]$.

В качестве меры упорядоченности $M[d_i(\omega), s_i]$ принят модуль коэффициента корреляции случайных величин $d_i(\omega)$ и s_i : $M[d_i(\omega), s_i] = |r[d_i(\omega), s_i]| = |r_i(\omega)|$. При нормальном распределении $p[d_i(\omega)]$, $p[s_i]$ и $p[d_i(\omega), s_i]$ величин $d_i(\omega)$ и s_i функционал $I[d_i(\omega), s_i]$ связан с коэффициентом корреляции $r_i(\omega)$ формулой

$$I[d_i(\omega), s_i] = \frac{1}{2} \ln [1 - r_i^2(\omega)]$$

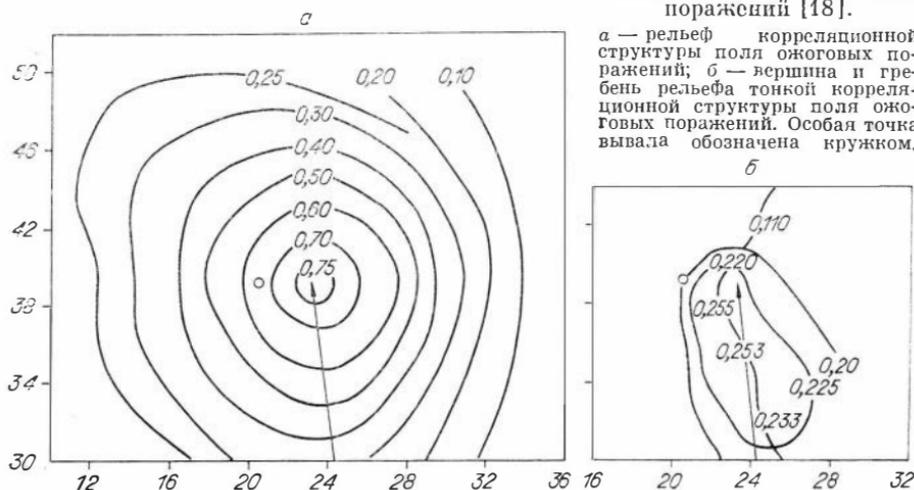
и, следовательно, максимум $r_i(\omega)$ достигается в максимуме $I[d_i(\omega), s_i]$.

На рис. 5, а показан рельеф функции корреляции $\rho(x, y, h)$ в плоскости Земли $h = 0$ км, полученный на основании 75 замеров [18]. Рельеф имеет выраженный конусообразный характер с вершиной в точке с координатами $x = 39,0$; $y = 22,2$.

Максимальная корреляция равна 0,761. Подобные структуры были получены для $h = 1, 2, \dots, 10$ км. По мере возрастания высоты, как отмечают авторы, вершина конуса смещается на восток, а величина корреляции возрастает, принимая на высоте 7 км максимальное значение 0,783. Координаты глобального максимума составляют, км: $x = 39,0$; $y = 23,2$; $h = 7,0$.

При построении рельефа рис. 5, а учитывались и пустые пробы, удаленные на 10 км и более от эпицентра. Как отмечают авторы

Рис. 5. Корреляционная структура поля ожоговых поражений [18].



а — рельеф корреляционной структуры поля ожоговых поражений; б — вершина и гребень рельефа тонкой корреляционной структуры поля ожоговых поражений. Особая точка вывала обозначена кружком.

работы [18], эти пробы, усиливая выраженность рельефа, огрубляют картину. Для выявления более тонкой структуры пустые пробы были исключены из расчета. Полученная таким образом функция корреляции образует рельеф, гребень которого показан на рис. 5, б. Более развитое южное крыло фигуры свидетельствует о высокой интенсивности поражений к югу от эпицентра. Отметив это, авторы [18] указывают, что аналогичная асимметрия наблюдается и на карте вывала, что подтверждает наличие некоторого сходства полей ожога и аэродинамического напора.

С. А. Разин за оценку координат источника лучистой энергии принял координаты точечного источника, создающего на поверхности Земли распределение освещенности, наиболее точно соответствующее распределению интенсивности поражающего воздействия в момент Тунгусского взрыва [64]. Принимаемую для расчетов модель строили, предполагая, что уровень минимальной энергии q , необходимый для поражения участка коры ветки, пропорционален толщине коры δ на этом участке: $q = k\delta$. Как показано в [37], связь толщины коры с диаметром ветки может быть описана линейной зависимостью $\delta = ad + \delta_0$. На границе области поражения интенсивность излучения достигает того минимального уровня q_0 , при котором происходит поражение только наиболее тонких участков коры: $q_0 = k\delta_0$. С другой стороны, $q = Wf(R_0)$, где W — лучистая энергия, выделившаяся в точке пространства (x_0, y_0, h_0) , R_0 — расстояние от точки (x_0, y_0, h_0) до границы области поражения. Из последних формул следует:

$$k = \frac{Wf(R_0)}{\delta_0}$$

откуда

$$q = \frac{\delta}{\delta_0} f(R_0) W.$$

С. А. Разин показывает, что для того, чтобы произошло повреждение коры данного участка ветки (спила), необходимо выполнение неравенства

$$\cos v \geq \frac{\delta}{\delta_0} \frac{f(R_0)}{f(r)},$$

где v — угол, под которым лучи источника, лежащие в плоскости, проведенной через ось спила и точку (x_0, y_0, h_0) , падают на спил, а f_r — функция ослабления.

При выполнении этого неравенства происходит повреждение коры ветки и сектор повреждения ε определяется условием $Q\left(\frac{\varepsilon}{2}\right) = q$, где Q — плотность падающей на образующие спила энергии.

В качестве меры адекватности построенной модели взята сумма

$$S = (x_0, y_0, h_0) = \sum_{i=1}^N p \left(\cos \frac{\varepsilon_i}{2} - \cos \frac{\widehat{\varepsilon}_i}{2} \right)^2,$$

Рис. 6. Градиент лучистого ожога в направлении север — юг [53].

где $\widehat{\varepsilon}_i$ — сектор повреждения, имеющийся на данном спиле; ε_i — соответствующее ему теоретическое значение; p_i — весовой коэффициент, равный длине образующей спила.

За оценку координат источника излучения принята точка (x_c, y_c, h_c) , в которой сумма $S(x_0, y_0, h_0)$ достигает минимума.

В качестве функции ослабления С. А. Разин использовал функцию $f(r) = \frac{1}{4\pi r^2}$ (ослаблением, связанным с рассеянием излучения в атмосфере, пренебрегалось).

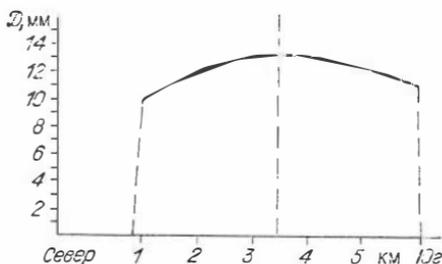
Расчеты велись на основании данных более чем полутора тысяч спилов. Источник излучения помещался последовательно в узлы трехмерной регулярной решетки, и для каждого узла вычислялась S . Результаты расчетов показали, что с увеличением высоты в интервале 6—10 км S резко возрастает; тем самым для данной модели высота взрыва более 6 км отвергается. Проекция найденных точек на поверхность Земли имеет координаты $x_c = 39,8$ км, $y_c = 23,5$ км. Высота источника поражения, полученная по распределению интенсивности поражающего воздействия на ветви лиственниц, составила $h_c = 5-6$ км [64].

Отметим, что, несмотря на сложность задачи определения координат источника поражения, координаты его эпицентра, рассчитанные в [18], [31] и [64] разными методами и исходя из различных предпосылок, дали довольно близкие результаты.

Большой интерес представляет градиент интенсивности ожоговых поражений. На рис. 6 представлена приведенная в работе [53] кривая, характеризующая изменение в направлении север — юг интенсивности ожога, за меру которой принят максимальный диаметр обожженной ветки в миллиметрах. Видно, что интенсивность ожога плавно уменьшается к северной и южной границам зоны, где происходит резкий ее спад.

Не следует, однако, отождествлять кривую изменений интенсивности ожоговых поражений с кривой изменения интенсивности лучевого потока. Как показано А. Г. Ильиным и др. [37], с увеличением диаметра ветки с 10 до 13 мм происходит увеличение толщины ее коры примерно на 25% (от 1,45 до 1,8 мм), что, безусловно, повышает устойчивость камбия к ожоговому поражению, т. е. кривая изменения интенсивности лучевого потока с удалением от центра области будет более крутой.

Граница области распространения «рыхлого кольца» изучена наименее полно. В. А. Воробьев и др. [19] считали, что «рыхлое кольцо» встречается только в зоне, где есть ожог, и пропадает вместе с исчезновением его следов. Но собранный в 1969 г. А. Карташовым



дополнительный материал показал, что границы ожога и «рыхлого кольца» не совпадают. Особенно это относится к южному и юго-восточному секторам района катастрофы, где «рыхлое кольцо» на стволах продолжает обнаруживаться далеко за пределами зоны ожога [53]. Предположение, что причиной возникновения «рыхлого кольца» была гибель хвои в момент катастрофы, не должно вызывать удивления — ведь для гибели хвои требуется значительно меньшая интенсивность лучистого потока, чем для ожога покрытой корой ветки. Кроме того, возможно, что для появления на стволе «рыхлого кольца» достаточно гибели не всей хвои, а лишь ее части, что будет соответствовать случаю срыва кроны взрывной волной на границе вывала или в еще более отдаленных районах. Возможно также, что протяженность «рыхлого кольца» на юге и юго-востоке вызвана ожогом или срывом хвои слабой баллистической волной на заключительном участке траектории (при ее южном варварте).

ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА И ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЗЛИЧНЫХ ЗОНАХ ОБЛАСТИ ПОРАЖЕНИЙ

В настоящее время имеются работы, позволяющие оценить величину теплового потока, действовавшего на деревья в момент ожога и на живую хвою, опад, подстилку в момент воспламенения, а тем самым восстановить тепловую обстановку в момент взрыва.

В работе [30] приведены результаты исследования воспламеняемости образцов лесных горючих материалов, собранных в районе падения (на горе Стойкович). Экспериментально найдено, что величина теплового импульса, необходимого для воспламенения четырех наиболее распространенных горючих материалов (лишайника, мха, усохших злаков, сухих листьев березы и осины), различается незначительно и практически линейно зависит от продолжительности воздействия. Абсолютные значения мощности теплового потока, воспламеняющего перечисленные материалы, составляют 5 и 12 Вт/см² при времени экспозиции 10 и 2 с. В тех же условиях древесина сосны загорается от теплового потока 12 и 30 Вт/см². Живая хвоя сосны, ели и кедра (влажность 130%) возгорается несколько труднее и требует для этого мощности потока тепла 18—33 Вт/см².

Экспериментальное исследование теплообмена при лесных пожарах показало, что мощность теплового потока в пламени костра составляет 4 Вт/см², а поток тепла при низовом пожаре на поверхности напочвенного покрова — 1,6 Вт/см² [1]. В той же работе отмечается, что температура в кроне сосны при низовом пожаре не превосходит 400 К.

Изучение воспламенения образцов древесины бука позволило авторам [2] установить зависимость между временем воспламенения и мощностью действующего теплового импульса. Рассчитанные по предложенной формуле величины мощности теплового импульса при времени воспламенения 2 и 10 с составляют 18 и 50 Вт/см² соответственно.

В результате исследования воздействия светового излучения на различные вещества растительного происхождения [21] установлено, что обугливание коры живых деревьев (ели, сосны, клена) происходит при воздействии энергетической экспозиции 40 Дж/см² за 2 с, или 60 Дж/см² за 10 с. Возгорание наиболее легковоспламеняющихся материалов (сухой гнилой древесины, опавших игл, мелкой травы) происходит при энергетической экспозиции 16—25 Дж/см² за 2 с, или 35—50 Дж/см² за 10 с.

Таким образом, анализ результатов экспериментальных исследований воспламенения лесных горючих материалов позволяет установить критическое значение энергетической экспозиции, вызывающее возгорание наиболее легковоспламеняющихся веществ в лесу — 20—25 Дж/см² — и ожог коры деревьев — 40—60 Дж/см².

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ КАРТИНЫ ПОРАЖЕНИЙ НА МЕСТНОСТИ С ВОЗМОЖНЫМИ МОДЕЛЯМИ ВЗРЫВА

Все существующие гипотезы о природе Тунгусского космического тела можно условно разделить на 3 группы по предполагаемому характеру взрыва.

1. **Взрывоподобное разрушение с выделением в основном кинетической энергии тела.** К этой группе относятся, например, гипотезы взрывоподобного дробления с выпадением метеоритного дождя [41], прогрессивного дробления и полного диспергирования метеорита или ядра кометы [20], вторжения в атмосферу Земли облака космической пыли [17], «теплого взрыва» ядра небольшой кометы [66], входа в атмосферу Земли космического тела малой плотности (менее 0,01 г/см³) [61].

2. **Взрыв с выделением в основном внутренней энергии вещества космического тела.** К этой группе относятся гипотезы, по которым взрыв имел ядерную природу [33], был мощным электрическим разрядом [65], вторжением в атмосферу Земли антивещества [77], хемилюминесцирующим образованием, возникшим в стратосфере при воздействии на воздух солнечного излучения и космических лучей [27], плазменным энергофором и др.

3. **Взрыв с выделением внутренней энергии вещества космического тела, для осуществления которого требуется значительная кинетическая энергия.** Примером таких гипотез могут служить фазовый взрыв [55] и предложенная нами модель взрыва ледяного ядра кометы: за счет кинетической энергии тела происходит его диспергирование с образованием газозвушного облака, а затем взрывчатое превращение (детонация). В определенных условиях, зависящих в первую очередь от концентрации в ядре кометы органических веществ с достаточно высокой теплотой сгорания, а также от удовлетворительного смещения этих продуктов с кислородом воздуха, «объемный взрыв» такого облака по поражающему воздействию ударной волны занимает промежуточное значение между химическими и ядерными взрывами [76].

Для гипотез, по характеру взрыва относящихся к 1-й группе, сопоставление ожидаемой мощности взрыва с реальной картиной разрушений на местности можно провести, лишь оценив скорость летевшего тела перед моментом взрыва. Проведем оценку средней скорости тела на конечном участке траектории полета протяженностью 60—70 км по показаниям очевидцев, находившихся в пос. Ванавара. Таких показаний три [16].

С. Б. Семенов занимался работой, сидя на крыльце лицом к северу: «Небо раздвинулось на большое пространство, вся северная часть неба была покрыта огнем. В этот момент мне стало так горячо, что не было терпения, словно на мне загорелась рубашка... Я хотел уж было разорвать и сбросить с себя рубашку, но в этот момент небо захлопнулось и раздался сильный удар, а меня сбросило на землю...» [16, с. 66].

А. С. Косолапова, которая в это время вместе с М. Брюхановой пришла по воду на ключ, вспоминала: «Увидела перед собой на севере, что небо раскрылось до самой земли и пыхнул огонь. Мы испугались, и только что я успела сказать: „С чего это небо днем раскрылось? Ночью я слышала, что небо раскрывается, а днем я не слышала“, как небо снова закрылось и вслед за этим послышались удары...» [16, с. 68].

П. П. Косолапов находился во дворе дома — вытаскивал щипцами гвоздь из наличника окна. Вдруг что-то сильно обожгло ему уши. Схватившись за них и думая, что горит крыша, он поднял голову и спросил сидящего у своего дома на крыльчке С. Б. Семенова: «Вы что, видели что-нибудь?» «Как не видеть,— отвечал тот,— мне тоже показалось, что меня как бы жаром охватило». П. П. Косолапов тут же направился в дом, но «только вошел в комнату и хотел сесть на пол к работе, как раздался удар...» [16, с. 70].

Таким образом, все трое очевидцев, опрошенных в разное время и независимо друг от друга, утверждают, что первый «удар» раздался почти сразу же после световой вспышки. Поскольку средняя скорость распространения выходящей ударной волны составляет около 400 м/с, звук взрыва от места катастрофы мог дойти до Ванавары приблизительно за 160 с. Поэтому совершенно очевидно, что жители Ванавары вскоре после вспышки услышали не взрыв, а приход баллистической волны, образовавшейся при пролете космическим телом ближайшей к поселку точки траектории.

Наиболее обоснованная траектория полета тела предложена И. С. Астаповичем [6]: направление движения $A = 353^\circ$, средний угол наклона траектории $i = 10^\circ$. В этом случае ближайшая к Ванаваре точка траектории находилась в 20—25 км, и это расстояние должно было быть преодолено баллистической волной за 50—60 с. Если оценить интервал времени, на который вспышка взрыва опередила первый «удар» (приход баллистической волны), примерно в 20 с, то нахождение заключительного участка траектории в 60—70 км телу потребовалось 30—40 с, т. е. его средняя скорость, была около 2 км/с, а перед моментом взрыва еще меньше.

Если же предположить, что тело двигалось с большей скоростью например 20 км/с, по более крутой траектории с углом наклона 40—

45° (как это принимается многими авторами), то разница во времени между световой вспышкой и приходом в Ванавару выродившейся в звуковую баллистической волны от ближайшей точки траектории составит 110—115 с, что расходится с показаниями очевидцев.

Против высокой скорости тела на заключительном участке траектории свидетельствует и следующее соображение. При скорости 20 км/с космическое тело должно обладать значительной прочностью для того, чтобы выдержать скоростной напор встречного потока воздуха. В то же время отсутствие дымного следа при полете тела в атмосфере, явных следов падения крупных его фрагментов и невысокая плотность вещества, отмечаемая большинством исследователей, позволили предположить, что Тунгусский метеорит представлял собой ледяное ядро небольшой кометы [42]. В этом случае малая прочность ледяного конгломерата кометного тела лимитирует диапазон возможных значений его скорости на заключительном участке траектории полета.

На рис. 7 изображены линии одинаковых значений скоростного напора в координатах высота — скорость и точками обозначены условия, при которых происходило разрушение некоторых крупных болидов [5, 39, 54, 75]. На этом же рисунке приведены параметры разрушения пылевых матриц кометного происхождения [52] и предполагаемые нами высота и скорость при разрушении Тунгусского космического тела. Из рис. 7 следует, что высота и скорость разрушения болидов, пролет которых закончился выпадением каменных или железных осколков, группируются около изолиний, соответствующих аэродинамическому давлению 20—30 МПа.

По мнению авторов [6, 11, 32], каменные метеориты разрушаются при давлении 2—50 МПа, Сихотэ-Алинский метеорит раздробился при давлении около 40 МПа, т. е. нагрузки, при которых разрушаются каменные и железные метеориты, значительно меньше пределов прочности соответствующих материалов. Можно предположить, что это утверждение справедливо и для метеоритных тел космического происхождения, состоящих из пористой смеси льдов сложного состава, покрытых пылевой матрицей. Условия разрушения таких болидов по данным Европейской и Прерийной болидных сетей также приведены на рис. 7, причем соотношение высот и скоростей группируется около изобар скоростного напора 0,25 — 1 МПа. К аналогичному выводу приходят авторы работ [32, 51]: тело типа кометного ядра начало бы разрушаться уже при давлениях 0,01—0,1 МПа, что точно совпадает с прочностью пылевых матриц при их плотности 0,1 г/см³ [52].

Таким образом, если согласиться с гипотезой кометной природы Тунгусского метеорита, то нужно признать, что при разрушении на высоте 6—10 км он должен был обладать скоростью не более 2—3 км/с, что совпадает с оценкой скорости, сделанной по показаниям очевидцев. Но если отказаться от столь характерного для гипотез 1-й группы завышения скорости тела на конечном участке траектории полета и принять ее равной в момент перед взрывом 1,5 км/с, то для сохранения принятой энергии взрыва 10^7 Дж придется допустить,

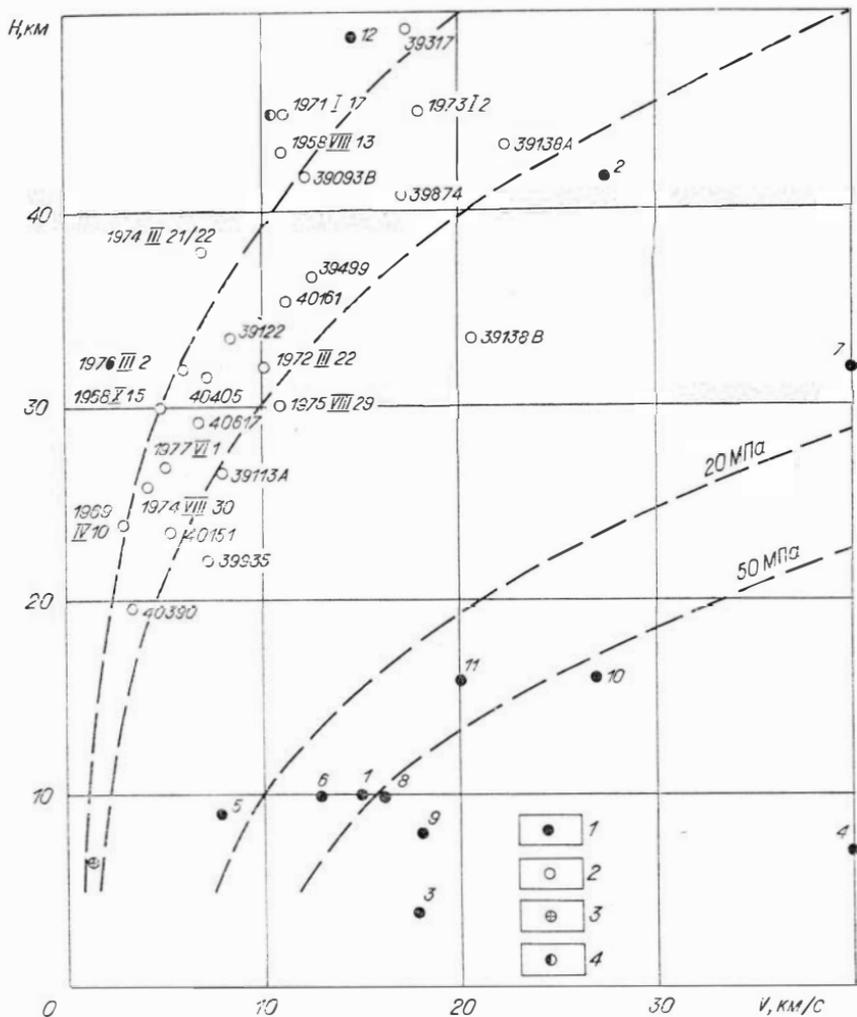


Рис. 7. Высота и скорость разрушения некоторых метеоритов и болидов с массивными телами.

1 — железные и каменные метеориты: 1 — Сихотэ-Алинский, 2 — Пултуск, 3 — Хомстед, 4 — Первомайский Поселок, 5 — Оханск, 6 — Томаковка, 7 — Чулак-Курган, 8 — Хмельна, 9 — Жовтневый Хутор, 10 — Саратов, 11 — Венгерово, 12 — Иннисфри; 2 — болиды с массивными телами по данным Европейской и Прерийной болидных сетей [54, 75]; 3 — высота и предполагаемая скорость разрушения Тунгусского метеорита; 4 — условия разрушения пылевых матриц кометных тел [35, 52].

что масса тела в момент взрыва составляла 10^8 т, что на 2—3 порядка выше, чем оценка большинства авторов.

Попробуем определить, могло ли взорваться такое тело, если оно представляло собой каменный метеорит. Энергия движущегося тела при взрыве была затрачена на следующие основные процессы: прогрессивное дробление, нагревание раздробленной массы до темпе-

ратуры плавления, плавление, нагрев расплава до температуры кипения, испарение, причем все эти процессы сопровождаются потерями энергии на излучение. Для того чтобы убедиться в энергетической невозможности осуществления этих процессов для тела с небольшой скоростью, нет необходимости проводить расчет полного теплового баланса. Оценочный расчет энергии, необходимой лишь для нагрева раздробленной массы 10^8 т (принимая теплоемкость метеорита в первом приближении равной теплоемкости оливина), показывает, что она составит более 10^{17} Дж. Таким образом, после процесса дробления оставшегося запаса кинетической энергии не хватит даже на то, чтобы нагреть осколки метеорита до температуры плавления, и основная масса его должна выпасть в виде метеоритного дождя. Повидимому, схожая ситуация будет наблюдаться и в случаях крупного железного метеорита и уплотненного облака космической пыли.

Из всех тел различной физической природы, рассматриваемых в гипотезах, относящихся к 1-й группе, реальная возможность взрывоподобного разрушения, вероятно, будет лишь у ледяных метеоритов кометного происхождения, которые, по современным представлениям, имеют пористую пылевую матрицу, позволяющую им выдерживать скоростной напор 0,04—0,25 МПа (при пористости от 60 до 40% [35]). Разрушение такой матрицы происходит при скорости 12 км/с на высоте 45—62 км, при 30 км/с — 62—72 км и при 60 км/с уже на высоте 73—82 км.

Разрушение тела из монолитного льда происходило бы при более высоких значениях скоростного напора (0,5—2 МПа), но и в этом случае при скорости 2—3 км/с оно наступит на высоте 10 км. До высоты 6—7 км ледяное тело может долететь только при скорости не более 1,5—2 км/с.

Но, как было показано авторами в [76], при скорости ледяного космического тела 1,5—2 км/с запаса его кинетической энергии хватит только на испарение собственно ледяной части. Поскольку же такие тела содержат вкрапления твердых частиц силикатного и металлического состава, составляющие 10—40% массы тела [12], то для полного испарения (что, видимо, и произошло с Тунгусским космическим телом) необходима дополнительная энергия. Этот случай рассматривают гипотезы, относящиеся к 3-й группе.

В литературе высказывалось мнение, что как вывал, так и последовавший затем пожар могли быть обусловлены непосредственным воздействием высокотемпературной зоны воздушной ударной волны, а не излучением, сопровождавшим ее формирование при взрывоподобном разрушении метеоритного тела в плотных слоях атмосферы [55]. В этом случае минимальная скорость движения Тунгусского космического тела при массе 10^6 т на заключительном участке траектории должна быть не менее 15 км/с, а с учетом того, что не вся кинетическая энергия тела переходит в энергию ударной волны, — значительно больше. Необходимо отметить также, что разрушение в воздухе и падение осколков крупных метеоритов, например Сихотэ-Алинского, не сопровождалось образованием настолько мощной ударной волны, что повышение температуры на ее фронте могло вызвать термические поражения на местности.

Характер повреждений леса в эпицентре и размеры площади вывала позволяют предположить, что давление на фронте ударной волны в зоне хаотического вывала достигало 0,5—1,0 МПа, а на границе зоны вывала — 0,01—0,02 МПа (см. рис. 4). Такому скачку давления соответствует повышение температуры на 430—650 К [14], т. е. если ударная волна, образовавшаяся при механическом разрушении метеорита, и могла вызвать возникновение пожара и ожог растительности, то только в центральной части вывала, не далее, чем в радиусе 2—3 км. По мере распространения воздушной ударной волны температура во фронте быстро падает, и при избыточном давлении 0,2 МПа, т. е. в 8—10 км от эпицентра, подъем температуры составляет всего 330—340 К (рис. 8). Такая температура ударной волны является, очевидно, максимально возможной; в работе [42] приводится значительно менее высокая температура — 570—590 К на расстоянии 3—3,5 км от геометрического центра взрыва.

Таким образом, гипотезы, по характеру взрыва относящиеся к 1-й группе, в состоянии объяснить, за счет какой энергии произошло взрывоподобное разрушение тела на высоте 5—6 км, только при условии существенного завышения скорости тела на заключительном участке траектории, что не согласуется с показаниями очевидцев взрыва из пос. Ванавара.

Во 2-й группе гипотез сопоставление с реальной картиной поражений на местности можно провести только для гипотезы ядерного взрыва. Авторы гипотез плазменного энергофора, хемилюминесцирующего образования и других не довели разработку своих моделей до уровня, позволяющего оценить ожог и пожар при подобном взрыве. Хотя несостоятельность ядерной гипотезы давно доказана отсутствием повышения радиоактивного фона в районе взрыва, отметим все же, что и по поражающему действию световой вспышки она не имеет ничего общего с реальной картиной пожара и ожога.

В подавляющем большинстве работ, посвященных изучению возникновения пожаров и ожоговых поражений растительности в районе взрыва Тунгусского метеорита, термические поражения рассматривались как следствие лучевого ожога (см., например, [28, 31]), причем зачастую природа источника излучения вообще не обсуждалась. Исходя из предположения о переносе энергии взрыва излучением и в соответствии с размерами зоны термических поражений оценивалась доля энергии взрыва, выделившаяся в виде светового излучения. Было показано, что в этом отношении взрыв Тунгусского космического тела приближался к ядерному взрыву, так как по некоторым оценкам, доля энергии излучения составляла до 30% общего энерговыделения [28].

Если предположить, что термические поражения растительности обусловлены воздействием излучения, то следует ожидать, что как зона ожога, так и зона возникновения пожара должны иметь форму круга или эллипса, а интенсивность поражения должна существенно возрастать от периферии к центру. Величина энергетической экспозиции в зависимости от расстояния до эпицентра может быть рассчитана по формуле, выражающей закон Ламберта — Бугера — Бэра

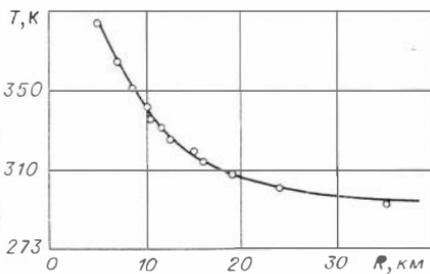


Рис. 8. Изменение температуры на фронте воздушной ударной волны по мере удаления от ее источника.

с учетом рассеянного излучения, возникающего при взрывах большой мощности [21],

$$Q = \frac{E_{\text{общ}} T}{4\pi D^2}, \quad (1)$$

где Q — энергетическая экспозиция на расстоянии от источника, кал/см²; $E_{\text{общ}}$ — общее количество излучения, испускаемое при взрыве, кал; T — коэффициент пропускания, т. е. часть излучения (прямого или рассеянного), которая достигает расстояния D ; величина этой части является сложной функцией дальности видимости (рассеяния), поглощения и расстояния. При расчете T брали по номограмме 7.104 работы [21]; D — расстояние от источника излучения, см.

Расчет по формуле (1) показал, что в районе эпицентра энергетическая экспозиция превысила 900 Дж/см², а это ничего общего не имеет с реальной картиной на местности. Ведь даже плотность облучения поверхности в факеле пламени костра составляет всего 4 Вт/см² [1], а при энергетической экспозиции, превышающей 84 Дж/см², сгорает практически все, что может гореть [57].

Расхождение величин энергетической экспозиции в центре и на периферии, в зоне возникновения отдельных очагов пожара (рис. 9), должно было обусловить существенное различие интенсивности термических поражений в зависимости от расстояния. И действительно, по мере удаления от эпицентра ожог ослабевает, но принципиального различия степени ожога и интенсивности пожара вблизи района «телеграфного леса» и на периферии не наблюдается. Более того, в 2—3 км от эпицентра обнаружены группы деревьев, переживших катастрофу [30], а в почве сохранились семена, обусловившие восстановление погибшего леса начиная уже с 1909—1910 гг. [59].

Таким образом, гипотезы, предполагающие, что ожог и пожар вызваны излучением в видимой части спектра, не согласуются с реальной картиной на местности.

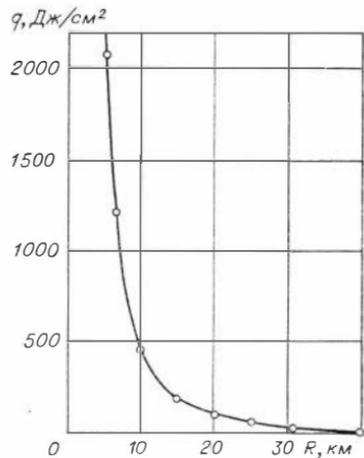


Рис. 9. Изменение удельной энергетической экспозиции в зависимости от расстояния до источника излучения.

ОБЪЯСНЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОЖАРА И ОЖОГА С ПОЗИЦИЙ ГИПОТЕЗЫ ОБЪЕМНОГО ВЗРЫВА

В работе [76] нами была предложена модель газовоздушного взрыва ледяного ядра Тунгусской кометы, произведена оценка ряда эффектов, вызванных таким взрывом, и показано хорошее совпадение модели с реальной картиной взрыва и его последствий.

Образующиеся при объемном взрыве газообразные продукты, главным образом водяной пар и диоксид углерода, имеют температуру 2500—3000 К, а давление на фронте детонационной волны достигает 2—3 МПа.

Спектральные исследования комет показали, что летучая составляющая кометного вещества имеет значительное количество воды, а содержание в ней органических веществ, в том числе и тех, что могут образовать с кислородом воздуха взрывчатые смеси, колеблется, по разным оценкам, от 10 до 50% [3, 12, 22, 38, 68]. Согласно расчетам [76], при содержании в составе льдов 50% воды по массе после испарения и смешения с воздухом образуется смесь газов, вполне способная к детонации.

При дальнейшем увеличении содержания инертного вещества в смеси скорость, температура и давление детонации понижаются до тех пор, пока не достигается нижний концентрационный предел взрываемости, после чего смеси теряют способность детонировать. Расчеты по формулам, приведенным в [63], показали, что способность к детонации различных веществ, входящих в состав комет, сохраняется при увеличении доли воды или инертных по отношению к кислороду воздуха газов в парообразном веществе до 80—90% по массе. Например, смесь 80% водяного пара, 20% метана и стехиометрического количества воздуха детонирует со скоростью 1700 м/с при температуре 2375 К, причем образующиеся продукты имеют давление 1,6 МПа и температуру 2100 К. При детонации смеси, содержащей 90% воды, 10% ацетилена и стехиометрическое количество воздуха, скорость составляет 1700—1800 м/с, температура — 2200 К, давление — 1,5 МПа, температура продуктов — 1970 К. В этом случае масса льдов гипотетического космического тела должна составлять $20,3 \cdot 10^6$ т при диаметре около 360 м.

В работе [76] рассматривался взрыв сферического облака газовой смеси диспергированного и испарившегося вещества с воздухом. Изменение давления на фронте ударной волны сферического взрыва представлено на рис. 4, кривая 1. В действительности же очертания зоны вывала леса свидетельствуют о том, что форма облака газовоздушной смеси отличалась от сферической и приближалась к конфигурации параболоида вращения, который в первом приближении может интерпретироваться как цилиндр со сферической головной частью. Такое предположение позволяет оценить изменение давления во фронте ударной волны газовоздушного взрыва раздельно в различных направлениях: в северном и южном по формуле для взрыва сферического заряда, а в западном и восточном — цилиндрического заряда [63]. Зависимость изменения давления во фронте удар-

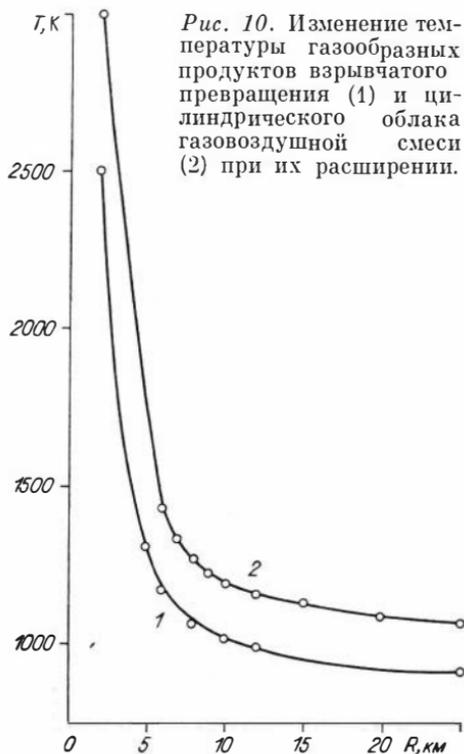
ной волны от расстояния в промежуточных направлениях — северо-западном, северо-восточном, юго-восточном и юго-западном — расчету по известным формулам не поддается.

Поскольку в работе [76] было показано, что взрывчатые характеристики смеси воздуха с отдельными органическими веществами, обнаруженными в ядрах комет, довольно близки, то расчет выполнен для взрыва условного облака газовой смеси, содержащей 10% ацетилена и 90% паров воды, массой $47,5 \cdot 10^6$ т и объемом $45,6$ км³. Принято, что радиус цилиндрической и полусферической частей облака составляет 1 км, длина облака около 15 км. Результаты расчета, представленные на рис. 4 (кривые 2 и 3), сопоставлены с данными о зависимости процента вывала леса от давления во фронте ударной волны [56] и реальным коэффициентом повала в районе взрыва Тунгусского метеорита, определенным полевыми исследованиями [9]. Видно, что характер изменения кривой б на рис. 4 (уменьшение процента вывала в лесном массиве, расположенном к северо-востоку от эпицентра, с удалением от зоны сплошного вывала) вполне удовлетворительно совпадает с характером изменения кривых 1—3 (падения давления во фронте ударной волны взрыва газовой смеси). Процент вывала на данном участке леса существенно выше, чем должен быть при данных давлениях даже для слабого леса на легких грунтах [56]. Это косвенно подтверждает мнение Н. П. Курбатского о том, что лес был значительно ослаблен предыдущими пожарами.

Большой интерес представляет расчет давления во фронте ударной волны для пос. Ванавара. Формула Садовского [63] для таких больших расстояний обычно не используется, и допустимость ее применения нуждалась в проверке. Известны скачки давления, зафиксированные на ряде метеостанций Сибири и Европы [4], что позволило сравнить расчетные и фактические значения. Так, например, в с. Тулуне (660 км от эпицентра взрыва) по расчету скачок давления должен был составить (в гПа) 3,72, а фактически он был 3,26; в г. Иркутске (910 км от эпицентра) по расчету — 2,69, фактически — 2,20; среднее расчетное значение скачка давления для метеостанций Англии (5700 км от эпицентра) — 0,42, а фактически — 0,55. Совпадение расчетных и фактических данных показало правомерность использования формулы Садовского для больших расстояний.

Для Ванавары при взрыве сферического облака газовой смеси давление во фронте ударной волны составит около 0,004 МПа, при взрыве облака цилиндрической формы — около 0,01 МПа, что хорошо согласуется с фактическими данными: разрушение стекол в оконных переплетах, сломанная задвижка двери сарая и т. д. [16].

При расширении облака продукты взрыва охлаждаются, однако еще долго сохраняют высокую температуру. Известно, что взрывные газы, даже расширившиеся до атмосферного давления, светятся еще относительно ярко и действительная температура облака светящихся газов значительно превышает вычисленную по уравнению состояния идеальных газов [7]. Поскольку энергия, заключенная в виде тепла в продуктах взрыва, расширившихся до давления окружающей



среды, представляет собой ту часть, которая не переходит в механическую работу и может рассматриваться как тепловая потеря энергии взрыва, температура продуктов взрыва при их расширении до того или иного давления может быть рассчитана по уравнению, предложенному для расчета тепловых потерь при взрыве [7]:

$$T_k = \sqrt[k]{T_1 \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} 273^{k-1}}, \quad (2)$$

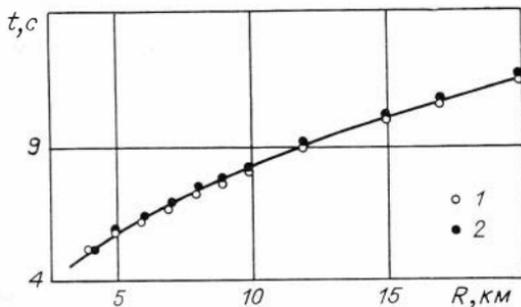
где T_k — температура продуктов взрыва, К; T_1 — температура продуктов взрыва до начала их расширения, К; p_0 — давление продуктов взрыва, МПа; p_1 — давление продуктов взрыва до начала их расширения, МПа; k — показатель адиабаты продуктов взрыва.

Результаты расчета температуры расширяющихся взрывных газов представлены на рис. 10. Так как взрывчатые свойства газозвушных смесей веществ, найденных в составе комет, довольно близки [76], приняты усредненные значения начальной температуры продуктов взрыва — 3000 К, давления — 2,5 МПа, показателя адиабаты — 1,27. Если смесь содержит дополнительно к стехиометрическому соотношению «горючий газ — воздух» пары воды (50 % по массе от горючего газа), то принимаются температура 2500 К, давление 2 МПа, показатель адиабаты 1,28. Если же исходная смесь содержит горючий газ (ацетилен) и пары воды в соотношении 10 : 90, то температура считается 2000 К, давление — 1,5 МПа, показатель адиабаты — 1,28.

Из результатов расчета следует, что продукты взрыва смеси диспергированного и испарившегося кометного вещества с воздухом достигли поверхности Земли, имея температуру 1200 К, что совпадает с оценкой температуры источника ожога растительности, предложенной фитопатологом И. И. Журавлевым при анализе поражений ветвей лиственниц [29]. На первый взгляд можно было бы ожидать, что непосредственное воздействие высокотемпературных взрывных газов вызовет не отдельные очаги возгорания, а мощный сплошной лесной пожар. Но в действительности этого не произошло по крайней мере по двум причинам: во-первых, расширяющиеся взрывные газы вытесняют воздух и в момент действия максимальной температуры

Рис. 11. Увеличение времени воздействия зоны повышенной температуры ударной волны при удалении фронта от эпицентра взрыва. Исходная форма облака газовой смеси практически не сказывается на времени воздействия.

1, 2 — цилиндрическое (1) и сферическое (2) облака.



в центре района пожара для возгорания не было достаточного количества кислорода, во-вторых, воздействие высокотемпературных продуктов на местность достаточно кратковременно.

Допуская применимость выражения, найденного для взрыва конденсированных веществ, к взрыву газовой смеси, можно оценить длительность воздействия продуктов взрыва, которая приблизительно соответствует времени действия избыточного давления на фронте ударной волны и может быть рассчитана по формуле [63]

$$t_i = 0,0015 \sqrt{R} \cdot \sqrt[6]{qI_x} \quad (3)$$

где t_i — время действия повышенного давления и температуры, с; R — расстояние до границы газовой смеси, м; q — масса облака, кг; I_x — тротиловый эквивалент газовой смеси.

По мере удаления от границы облака, падения давления и температуры время действия взрывных газов увеличивается, и на расстоянии 4 км оно составляет примерно 5 с, 10 км — 8 с, 15 км — 10 с, 30 км — 12 с (рис. 11). Именно эти факты объясняют наблюдаемую относительную равномерность ожога ветвей и возникновения очагов пожара на большой площади, которой не могло быть, если бы ожог и пожар были обусловлены воздействием только светового излучения. К сожалению, непосредственный расчет количества тепла, сообщаемого продуктами взрыва растительности, опадку, и т. п., затруднен из-за отсутствия данных о коэффициенте теплопередачи от горячего газа к указанным материалам в условиях нестационарных газовых потоков.

Необходимо подчеркнуть, что изложенная схема расширения взрывных газов является достаточно идеализированной и реально могла наблюдаться только при расширении продуктов взрыва сферического облака вверх и в стороны. Свободное их расширение вниз (сопровождающееся закономерным понижением давления и температуры) ограничивается поверхностью Земли, поэтому скорость понижения давления и температуры газов, падающих на Землю и распространяющихся затем вдоль нее, уменьшается. Известно, что при взрыве на поверхности или вблизи нее давление на фронте ударной волны примерно вдвое больше, чем при взрыве в воздухе; при этом и температура распространяющихся продуктов взрыва уменьшается медленнее [63]. Рассмотренный в [76] взрыв сферического облака газовой смеси диаметром 4 км на высоте 6—6,5 км является

промежуточным между воздушным взрывом и взрывом на поверхности, поэтому можно утверждать, что в реальных условиях скорости падения давления на фронте ударной волны и температуры продуктов взрыва были меньше, чем рассчитанные в данной работе.

Одним из интересных отличий газозвушного взрыва от ядерного является существенно более низкая температура излучающей поверхности. Если, например, при воздушном ядерном взрыве мощностью 20 кт температура поверхности огненного шара кратковременно может достигнуть 300 000 К, затем через 0,01 с снижается до 2000 К, за 0,2—0,3 с вновь повышается до 8000 К и через 1 с еще имеет температуру около 5000 К [21], то при газозвушном взрыве кислорода воздуха с органическими веществами, входящими в ядро кометы, начальная температура продуктов взрыва составляет 2000—3000 К, т. е. если для ядерного взрыва в спектре излучения будет преобладать видимое излучение, то при газозвушном — инфракрасное (70—90%).

До настоящего времени не находят объяснения показания очевидцев из Ванавары, ощутивших поток тепла в момент взрыва метеорита [40]. Энергетическая облученность, вызывающая у человека болевые ощущения, составляет около 1,3 Вт/см²; терапевтические дозы ИК-излучения колеблются от 0,05 до 0,15 Вт/см² [25]. Автор работы [28] принимает в качестве нижнего предела светового импульса в Ванаваре 0,4 Дж/см².

Так как видимое излучение почти полностью задерживается кожей, а коротковолновое ИК в значительной степени проникает в подкожную ткань, то ощущение тепла при воздействии ИК-излучения одинаковой со световым мощности будет более сильным, поэтому плотность облучения 0,4 Вт/см² будем считать верхним пределом потока тепла, зафиксированного очевидцами. Такая величина плотности светового потока на расстоянии 65 км от источника возможна только при термоядерном взрыве большой мощности [21], последствий которого на местности не обнаруживается.

Не замутненная аэрозолями атмосфера пропускает значительно бóльшую долю ИК-излучения, чем видимой части спектра. Так, при метеорологической видимости 7—8 баллов (по 10-балльной шкале) слой воздуха 24 мили (44,5 км) пропускает только 0,0005% светового потока с длиной волны 0,61 мкм и 0,462% с длиной волны 2,25 мкм. Наиболее прозрачна атмосфера для излучения в диапазоне длин волн 3,70—3,75 мкм: через слой 44,5 км проходит до 24% излучения, что при экстраполяции до 65 км дает 15—18% [10, 36]. Если считать, что в Ванаваре энергетическая экспозиция в основном ИК-излучения составляла 0,4 Дж/см², то при условии исключительно хорошей прозрачности воздуха в эпицентре она должна была быть около 60 Дж/см², что привело бы к ожогу коры деревьев и воспламенению сухой древесины. На расстоянии 10 км от эпицентра энергетическая экспозиция составляла бы несколько более 16 Дж/см², что могло вызвать воспламенение только наиболее легко воспламеняющихся материалов. На больших расстояниях (15—35 км) излучение не могло быть причиной пожаров. Расчет энергетической экспозиции на раз-

личных удалениях от источника излучения выполнен по формуле 7.99.1 из работы [21], причем коэффициент пропускания атмосферы для диапазона длин волн 2—4 мкм определен по степени ослабления потока ИК-излучения по данным таблиц [10].

Таким образом, если при взрыве Тунгусского метеорита излучение тепла было ощутимо на расстоянии 65 км, но в то же время не привело к полному уничтожению материалов растительного происхождения в непосредственной близости от эпицентра, то это свидетельствует об относительно низкой температуре источника излучения — не более 2000—3000 К, при которой большая часть энергии излучается в виде ИК, а не светового излучения. Именно такие температуры должны были возникнуть при взрыве газоздушных смесей испарившегося вещества кометных льдов, поэтому можно считать, что причиной ожога и пожара наряду с газообразными продуктами взрыва было и ИК-излучение.

Таким образом, предложенная ранее модель [76] разрушения ледяного космического тела за счет кинетической энергии и химического взрыва при взаимодействии органических веществ ядра кометы с кислородом воздуха оказалась плодотворной и заслуживает дальнейшей проработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абалтусов В. Е., Голованов А. Н., Неласв В. П. и др. К методике экспериментального исследования тепло-массообмена в зоне лесного пожара // Газодинамика неравновесных процессов.— Новосибирск: ИТиПМ, 1981.— С. 10—14.
2. Абдурагимов И. М., Андросов А. С., Бартак М. Воспламенение и горение древесины под влиянием тепловых потоков // Физика горения и взрыва.— 1986.— № 1.— С. 10—13.
3. Андриенко Д. А., Ващенко В. Н. Кометы и корпускулярное излучение Солнца.— М.: Наука, 1981.— 164 с.
4. Астапович П. С. Новые материалы по полету большого метеорита 30 июня 1908 г. в Центральной Сибири // Астроном. журнал.— 1933.— Т. 10, № 4.— С. 465—486.
5. Астапович П. С. Метеорные явления в атмосфере Земли.— М.: ГИФМЛ, 1958.— 640 с.
6. Астапович П. С. К вопросу о траектории и орбите Тунгусской кометы // Физика комет и метеоров.— Киев: Наук. думка, 1965.— С. 105—112.
7. Беляев А. Ф. Горение, детонация и работа взрыва конденсированных систем.— М.: Наука, 1968.— 255 с.
8. Бережной В. Г., Драпкина Г. П. Изучение аномального прироста леса в районе падения Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1964.— Вып. 24.— С. 162—169.
9. Бояркина А. П., Демин Д. В., Зоткин И. Т., Фаст В. Г. Изучение ударной волны Тунгусского метеорита по вызванным ею разрушениям леса // Метеоритика.— 1964.— Вып. 24.— С. 112—118.
10. Брамсон М. А. Справочные таблицы по инфракрасному излучению нагретых тел.— М.: Наука, 1964.— 314 с.
11. Бронштэн В. А. Физика метеорных явлений.— М.: Наука, 1981.— 416 с.
12. Бронштэн В. А. Ядра комет // Метеоритика.— 1985.— Вып. 44.— С. 21—28.
13. Бронштэн В. А., Бояркина А. П. Расчеты воздушных волн Тунгусского метеорита // Проблемы метеоритики.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 47—63.

14. Будников М. А., Левкович Н. А., Быстров П. В. и др. Взрывчатые вещества и пороха.— М.: Оборонгиз, 1955.— 363 с.
15. Василенко Б. В., Демин Д. В., Журавлев В. К. Термолюминесцентный анализ пород из района Тунгусского падения // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 227—231.
16. Васильев Н. В., Ковалевский А. Ф., Разин С. А., Эниктетова Л. Е. Показание очевидцев Тунгусского падения.— Томск, 1981.— 304 с.— Деп. в ВИНТИ 24.11.81, № 5350-81.
17. Вернадский В. И. Об изучении космической пыли // Мирозведение.— 1932.— Т. 21, № 5.— С. 32—41.
18. Воробьев В. А., Демин Д. В. Новые результаты исследования термических поражений лиственниц в районе падения Тунгусского метеорита // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 58—63.
19. Воробьев В. А., Ильин А. Г., Шкута Б. Л. Изучение термических поражений веток лиственниц, переживших Тунгусскую катастрофу // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 110—117.
20. Григорян С. С. О движении и разрушении метеоритов в атмосферах планет.— Космические исследования.— 1979.— Т. 17, вып. 6.— С. 875—893.
21. Действие ядерного оружия.— М.: Воениздат, 1965.— 684 с.
22. Дельсман А. Существует ли связь между кометами и происхождением жизни? // Кометы и происхождение жизни.— М.: Мир, 1984.— С. 139—160.
23. Демин Д. В. Алгоритм статистической оценки параметров Тунгусского падения по данным наземных наблюдений // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 235—236.
24. Демин Д. В., Дмитриев А. Н., Журавлев В. К. Информационный аспект исследований Тунгусского феномена 1908 г. // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 30—49.
25. Десрибере М. Практические применения инфракрасных лучей.— М.; Л.: Госэнергоиздат, 1959.— 440 с.
26. Дмитриев А. Н., Журавлев В. К. Тунгусский феномен 1908 года — вид солнечно-земных взаимосвязей.— Новосибирск: ИГиГ, 1984.— 144 с.
27. Дмитриев М. В пожаре — молнии блистали // Техника и наука.— 1983.— № 3.— С. 25—27.
28. Журавлев В. К. К оценке световой энергии Тунгусского взрыва // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 120—122.
29. Журавлев П. И. О возможной причине повреждения ветвей лиственницы в районе падения Тунгусского метеорита // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 118—119.
30. Зенкин Г. М., Ильин А. Г., Егоршин А. И. и др. Характеристика деревьев, переживших катастрофу в ее эпицентре // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1963.— С. 84—86.
31. Зенкин Г. М., Ильин А. Г. О лучевом ожоге деревьев в районе взрыва Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1964.— Вып. 24.— С. 129—140.
32. Зигель Ю. Ф. К вопросу о природе Тунгусского тела // Метеоритные и метеоритные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 151—161.
33. Золотов А. В. Новые данные о Тунгусской катастрофе 1908 г. // Докл. АН СССР.— 1961.— Т. 136, № 1.— С. 84—87.
34. Зоткин П. Т., Цикулин М. А. Моделирование взрыва Тунгусского метеорита // Докл. АН СССР.— 1966.— Т. 167, № 1.— С. 59—62.
35. Ибадинов Х. И. Прочность пылевых матриц, образующихся при сублимации запыленных льдов // Кометы и метеоры.— 1982.— № 34.— С. 19—23.
36. Иванов Ю. А., Тяпкин Б. В. Инфракрасная техника в военном деле.— М.: Советское радио, 1963.— 359 с.
37. Ильин А. Г., Воробьев В. А., Байер В. В. Связь параметров поражений веток лиственниц со световой энергией // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 105—109.
38. Каймаков Е. А., Матвеев П. Н. Химический состав ядер комет.— М.: ИКИ АН СССР, 1979.— 14 с.

39. Калининченко В. В. Анализ характера разрушения болидообразующих тел // *Астроном. вестник*.— 1985.— Т. 19, № 3.— С. 243—250.
40. Каталог лучевых поражений деревьев, переживших Тунгусский взрыв.— Томск, 1968.— 76 с.— (Архив Томского отделения ВАГО).
41. Коваль В. И., Ромейко В. А., Сурдин В. Г. К вопросу о Тунгусском метеорите // *Астроном. циркуляр*.— 1982.— № 1206.— 8 с.
42. Коробейников В. П., Путятин Б. В., Чушкин П. И., Шуршалов Л. В. Об эффектах излучения в условиях неоднородной атмосферы при Тунгусском явлении // *Метеоритные и метеорные исследования*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 5—24.
43. Коробейников В. П., Чушкин П. И., Шуршалов Л. В. Об ударных волнах при полете и взрыве метеоритов // *Проблемы метеоритики*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 20—46.
44. Коробейников В. П., Чушкин П. И., Шуршалов Л. В. Взаимодействие больших метеорных тел с атмосферой Земли // *Метеоритные исследования в Сибири*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 99—117.
45. Кринов Е. Л. Тунгусский метеорит.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949.— 195 с.
46. Кулик Л. А. За Тунгусским дивом.— Красноярск, 1927.— 16 с.
47. Кулик Л. А. Данные по Тунгусскому метеориту к 1939 г. // *Докл. АН СССР. Нов. сер.*— 1939.— Т. 22, № 8.— С. 520—524.
48. Кулик Л. А. Картина вывала и ожога в районе падения Тунгусского метеорита // *Вопросы метеоритики*.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 15—19.
49. Курбатский Н. П. О лесном пожаре в районе Тунгусского падения в 1908 г. // *Метеоритика*.— 1964.— Вып. 25.— С. 168—172.
50. Курбатский Н. П. О возникновении лесного пожара в районе падения Тунгусского метеорита // *Проблемы метеоритики*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 69—71.
51. Левин Б. Ю., Бронштайн В. А. Тунгусское событие и метеоры с заключительной вспышкой // *Астроном. вестник*.— 1985.— Т. 19, № 4.— С. 319—330.
52. Лизункова И. С. Астрономические приложения лабораторного исследования прочности матриц // *Астроном. циркуляр*.— 1984.— № 1343.— С. 3—6.
53. Львов Ю. А., Васильев Н. В. Лучистый ожог деревьев в районе падения Тунгусского метеорита // *Вопросы метеоритики*.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 53—57.
54. Мак-Кроски Р. Е., Шао Ци, Позен А. Болиды Прерийной сети. 1. Общие сведения и орбиты // *Метеоритика*.— 1978.— Вып. 37.— С. 44—59.
55. Мартынюк М. М. Роль фазового взрыва космического вещества в процессе разрушения метеоритов // *Взаимодействие метеоритного вещества с Землей*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 168—178.
56. Маслов Е. В. К вопросу о высоте и мощности взрыва Тунгусского метеорита // *Проблема Тунгусского метеорита*.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1963.— С. 105—112.
57. Моисеев Н. Н. Система «Гая» и проблема «запретной черты» // *Наука и жизнь*.— 1986.— № 1.— С. 11—66.
58. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи.— М.: Энергия, 1973.— 320 с.
59. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. Некоторые итоги и задачи изучения роста леса в районе падения Тунгусского метеорита // *Проблема Тунгусского метеорита*.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 127—133.
60. Несветайло В. Д. Дендрохронологическое датирование «стояков» района падения Тунгусского метеорита // *Метеоритные исследования в Сибири*.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 88—94.
61. Петров Г. И., Стулов В. П. Движение больших тел в атмосферах планет // *Космические исследования*.— 1975.— Т. 13, вып. 4.— С. 587—594.
62. Плеханов Г. Ф. Предварительные итоги двухлетних работ Комплексной самостоятельной экспедиции по изучению проблемы Тунгусского метеори-

- та // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1963.— С. 3—21.
63. Покровский Г. П. Взрыв.— М.: Недра, 1980.— 190 с.
 64. Разин С. А. Оценка координат источника ожоговых повреждений по распределению интенсивности поражающего воздействия в районе падения Тунгусского метеорита // Космическое вещество на Земле.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— С. 66—74.
 65. Соляник В. Ф. Метеорит и электрическое поле // Юный техник.— 1959.— № 3.— С. 64—65.
 66. Станюкович К. П., Шалимов В. П. О движении метеорных тел в атмосфере Земли // Метеоритика.— 1960.— Вып. 20.— С. 54—71.
 67. Суелов П. М. К розыску большого метеорита 1908 г. // Мирведение.— 1927.— Т. 16, № 1.— С. 13—18.
 68. Уинпл Ф. Л. Природа комет // Кометы и происхождение жизни.— М.: Мир, 1984.— С. 9—28.
 69. Фаст В. Г. Статистический анализ параметров Тунгусского вывала // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 40—61.
 70. Фаст В. Г., Бояркина А. П., Бакланов М. В. Разрушения, вызванные ударной волной Тунгусского метеорита // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 62—104.
 71. Фаст В. Г., Фаст Н. П., Голенберг Н. А. Каталог повала леса, вызванного Тунгусским метеоритом // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 24—74.
 72. Флоренский К. П. Предварительные результаты Тунгусской метеоритной комплексной экспедиции 1961 г. // Метеоритика.— 1963.— Вып. 23.— С. 3—29.
 73. Флоренский К. П., Вронский Б. П., Емельянов Ю. М. и др. Предварительные результаты работ Тунгусской метеоритной экспедиции 1958 г. // Метеоритика.— 1960.— Вып. 19.— С. 103—134.
 74. Фурьев В. В. Лесные пожары в районе падения Тунгусского метеорита и их влияние на формирование лесов // Проблемы метеоритики.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 72—87.
 75. Цепляха З. Болиды Европейской сети // Метеоритика.— 1978.— Вып. 37.— С. 63—68.
 76. Цыбал М. Н., Шнитке В. Э. Газовоздушная модель взрыва Тунгусской кометы // Космическое вещество и Земля.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986.— С. 98—117.
 77. Cowan C., Atluri C. R., Libby W. F. Possible antimatter content of the Tunguska Meteor of 1908 // Nature.— 1965.— V. 206, N 4986.— P. 861—865.
 78. Davis K. P. Forest Fire: Control and Use.— New York: McGraw-Hill, 1959.— 584 p.

В. И. Нагорнов

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВОБОДНО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ТУНГУССКОМ ВЗРЫВЕ

Математическому моделированию Тунгусской катастрофы посвящен ряд работ, среди которых следует отметить исследования В. П. Коробейникова с соавторами (см., например, литературу в [3]). Путем численного эксперимента, согласованного с данными наблюдений, они определили многие параметры Тунгусского взрыва, в том числе мощность и высоту.

В данной работе делается попытка приближенного описания процессов конвективного теплообмена при подъеме нагретой шарообразной массы воздуха, образовавшейся после взрыва. В [5] приведено распределение температуры воздуха через 2 с после взрыва, которое и выбирается в качестве начального. Максимальная температура в этот момент 6000 К, радиус нагретого шара ~ 2 км, его центр находится на расстоянии 6,5 км от земли, давление близко к нормальному.

Математическая модель поставленной физической задачи основывается на системе упрощенных (плотность не зависит от давления) двумерных уравнений Навье — Стокса в цилиндрической системе координат [7]. Для численного решения системы дифференциальных уравнений использован видоизмененный неявный метод Эйлера [6]. При расчете температуры газа учитывалась потеря энергии за счет излучения. Вследствие оптической неоднородности воздуха излучение определяется из численного решения двумерного уравнения для плотности потока в диффузионном приближении для серого газа [2]. При этом коэффициент поглощения рассчитывается интерполированием планковского и росселандова среднего. Так как движение воздуха носит турбулентный характер, в уравнениях используется простая, но физически обоснованная модель турбулентных течений Прандтля [1, 4].

В результате численных расчетов получены распределения температуры, плотности и компонент скоростей в различные моменты времени. Для наглядности движения воздуха периодически вычислялись значения функции тока, определяющие траекторию движения.

На рис. 1 показано изменение температуры газа в зависимости от высоты. Объем воздуха быстро остывает, особенно вначале, когда некоторая часть энергии теряется за счет излучения. Через 45 с максимальная температура уменьшается в 15 раз. Через 30 с термик

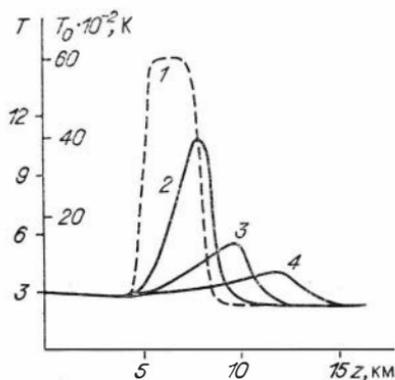


Рис. 1. Распределение температуры воздуха по высоте на оси симметрии в различные моменты времени.

1—4— t соответственно 0 (1), 15 с (2), 30 (3) и 45 с (4).

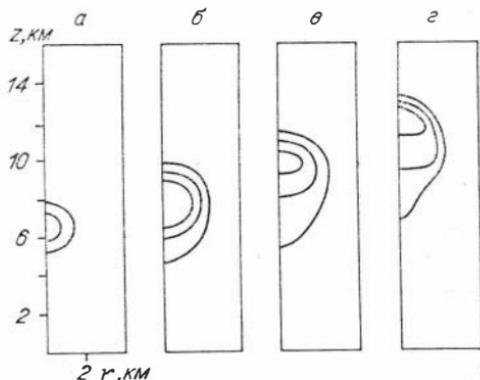
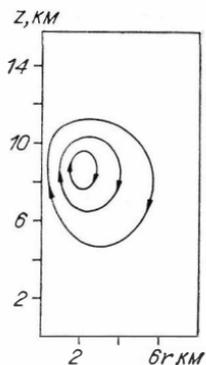


Рис. 2. Изолинии температуры воздуха в различные моменты времени.

а—г— t соответственно 0 (а), 15 с (б), 30 (в) и 45 с (г).



достигает высоты тропопаузы. Скорость всплывания нагретой массы ~ 120 м/с. Пространственное изображение температуры дано на рис. 2.

В области высокой температуры образуется сильное вихревое движение со скоростями порядка 200 м/с. Мощная конвекция приводит к отклонению изотерм воздуха, которые принимают классическую грибовидную форму. Вследствие этого примерно через 40 с происходит характерное смещение точки с максимальной температурой вправо от оси симметрии. Диаметр тороидального вихря со временем увеличивается: через 30 с он составляет 6 км и захватывает массы воздуха даже на высоте 4 км (рис. 3). Центр циркуляционного движения расположен ниже самой нагретой области и поднимается вверх со скоростью 100 м/с, которая меньше скорости подъема термика.

В будущем необходимо уточнить математическую модель, более тщательно определив эффект турбулентности, и учесть влияние лесного пожара, который возник под местом взрыва из-за воздействия излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович Г. Н., Крашенинников С. Ю., Секундов А. Н., Смирнова П. П. Турбулентное смещение газовых струй.— М.: Наука, 1974.— 272 с.
2. Коробейников В. П. Задачи теории точечного взрыва.— М.: Наука, 1985.— 400 с.
3. Коробейников В. П., Чушкин П. И., Шуршалов Л. В. Взаимодействие больших метеоритных тел с атмосферой Земли // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 99—117.
4. Мэдин Д., Плетчер Р. Расчет вынужденных турбулентных восходящих потоков в стратифицированной и однородной окружающей среде // Теплопередача.— 1976.— № 2.— С. 105—111.
5. Путятин Б. В. Задачи газодинамики взрыва в излучающем газе и магнитном поле: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.— М.: МИАН им. В. А. Стеклова, 1981.— 10 с.
6. Ривард У., Батлер Т., Фармер О. Нестационарные турбулентные течения химически реагирующих газовых смесей // Численное решение задач гидромеханики.— М.: Мир, 1977.— С. 184—193.
7. Ramshaw J. D., Trapp J. A. A numerical technique for low-speed two-phase flow with sharp interfaces // J. Comput. Phys.— 1976.— V. 21, N 4.— P. 325—334.

**О МОМЕНТЕ ПРОЛЕТА И ТРАЕКТОРИИ
ТУНГУССКОГО БОЛИДА 30 ИЮНЯ 1908 г.
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ОЧЕВИДЦЕВ**

Тунгусский болид 30 июня 1908 г. повлек за собой яркие световые явления, а взрывообразное выделение большой энергии в конце его траектории вызвало вывал леса на площади свыше 2000 км² и глобальное распространение воздушных и сейсмических волн.

Не вызывает никакого сомнения то, что вывал леса и образование воздушных и сейсмических волн обусловлены одним и тем же явлением. Об этом свидетельствует, в частности, соответствие данных об общей энергии и высоте взрыва, полученных путем математического моделирования вывала леса [10] и определенных по сейсмическим и микробарографическим данным [14]. Это дает возможность с достаточной точностью установить время пролета и направление Тунгусского болида.

По сейсмическим данным среднее значение момента прихода воздушной волны в эпицентр (60°53'09'' с. ш., 101°53'40'' в. д.) — 0 ч 14,5 ± 0,8 мин (по Гринвичу) 30 июня 1908 г. [14], или 7 ч 02,0 ± ± 0,8 мин по местному времени. Как видим, погрешность в оценке этого момента превышает суммарное время пролета болида и пробега ударной воздушной волны от точки взрыва до эпицентра, исчисляемое секундами. Поэтому момент пролета болида можно оценить в 7 ч 02 мин местного времени, т. е. болид был утренним.

С другой стороны, вывал леса и иные повреждения в этом районе имеют явно выраженную осевую симметрию с азимутом оси вывала 99° к востоку от меридиана [15]. Согласно модельным опытам [7] и расчетам вывала леса [10], такая картина может быть в случае сочетания сферической и цилиндрической ударных волн, где направление оси симметрии совпадает с проекцией оси цилиндрической волны на горизонтальную плоскость, т. е. с направлением движения болида, вызвавшего эту цилиндрическую ударную волну. Отсюда следует, что направление болида было примерно с востока на запад.

Таким образом, можно считать твердо установленным, что Тунгусский болид 30 июня 1908 г. был утренним и двигался в общем направлении с востока на запад к своей конечной точке, координаты которой определены с большой точностью. Естественно, что наблюдения очевидцев, если они достоверны, должны согласоваться с этими фактическими данными. Однако практика показывает, что такие наблюдения могут быть весьма неточными, так как для оценки точного времени необходимы часы, для определения азимутов начала и конца полета болида — компас, а для измерения его угловой высоты — эклиметр. Если свежие наблюдения еще могут дать приближенные оценки, хотя и тут встречаются противоречия, то сведения, сообщенные по памяти через месяц, год или через десятилетия, чем дальше, тем больше будут отягощаться ошибками. При этом качест-

во таких наблюдений не может компенсироваться их количеством, собранным через полвека и более. Очевидно, не поможет никакая статистическая обработка этих наблюдений, даже произведенная с применением современной электронно-вычислительной техники. Без критического отношения к исходному материалу можно получить совершенно невероятные выводы, которые легко окажутся в противоречии с установленными фактами.

Как известно, случайные очевидцы Тунгусского падения присылали данные своих наблюдений или были опрошены в разных местах и в разное время, начиная с 1908 г. и до 70-х гг. Естественно, что их сведения весьма разноречивы. Для того чтобы разобраться с этим материалом, Д. В. Демин и др. [3] «исходили из гипотезы, что гетерогенность показаний имеет территориальную природу». Но любая гипотеза, если она не опирается на достоверные факты, может привести к искусственным выводам. В итоге эти авторы получили неожиданный результат, что 30 июня 1908 г. к одному месту направлялось несколько болидов, из них один — утренний, двигавшийся на север, и другой — дневной, двигавшийся на запад.

Отсюда неизбежно следует, что ни тот, ни другой из предполагаемых болидов не мог быть причиной наблюдаемых эффектов вывала леса, барических и сейсмических явлений, которые, как показано выше, были произведены одним болидом, пролетевшим 30 июня 1908 г. утром с востока на запад. Это явное противоречие с имеющимися фактами связано с неверной предпосылкой и методическими ошибками, допущенными при обработке таких специфических данных, как воспоминания очевидцев явления.

Любой анализ показаний очевидцев Тунгусского падения, достаточно полно собранных в работе Н. В. Васильева и др. [2], не может претендовать на уточнение вышеприведенных данных о времени и направлении полета болида ввиду весьма приближенной оценки этих параметров («утром», «на северо-запад» и т. п.) очевидцами, у которых отсутствовали часы и компас. В данном случае можно достаточно определенно говорить лишь о самом факте видимости болида и приблизительно — о направлении на его конечную точку. Дополнительные данные могут дать такие сведения, как направление движения болида «справа налево» или «слева направо», прослеженное из известного пункта, а также постоянные ориентиры, положение которых впоследствии можно проконтролировать. Такими ориентирами являются, например, место взрыва Тунгусского метеорита, отвечающее конечной точке болида, и положение Солнца на небосводе в момент падения метеорита.

При этом наибольшего доверия заслуживают только свежие наблюдения. Поэтому систематизировать эти сведения следует скорее не по территориальному признаку, а по времени сообщения, придавая ранним сообщениям большее значение. Следует также заметить, что территориальное распределение сведений носит здесь не случайный характер, а определяется местом проведения специальных опросов свидетелей. Наиболее естественно разделить сообщения очевидцев Тунгусского падения по времени их поступления на че-

тыре отчетливых периода: 1) 1908 г., 2) 1921—1922 гг., 3) 1926—1938 гг., 4) 1959—1974 гг.

В 1908 г. вскоре после падения Тунгусского метеорита были получены сведения от очевидцев, опубликованные в различных сибирских газетах, а также ответы корреспондентов из ряда мест на запросы Иркутской геофизической обсерватории. Эти материалы находятся в архиве Комитета по метеоритам АН СССР. Большинство указанных сообщений относится к звуковым и механическим явлениям, вызванным воздушными и сейсмическими волнами, и лишь небольшое число их зафиксировало световые явления, связанные с болидом. В таблице приведены основные сведения о болиде, характеризующие время и направление его движения.

Момент пролета болида. Как видно из таблицы, момент пролета болида заключен в основном между 7 и 8 ч местного времени, что свидетельствует о погрешности оценки времени по сравнению с точным моментом (7 ч 02 мин) в пределах одного часа, учитывая значения местного времени в отдельных пунктах, находящихся на различ-

№ п/п	Наблюдатель, корреспондент	Пункт наблюдения	Расстояние до эпицентра	Время наблюдения	Направление видимой траектории
1	Голощекин А.	с. Каменское	600 км к юго-западу	7 ч	От Солнца на северо-восток
2	Соловина	с. Кежда	220 км к юго-западу	7 ч	С юга на север
3	П-хов	»	Там же	7 ч 43 мин	С юга на северо-северо-восток
4	Гречин Т.	с. Шаманово	580 км к югу	Около 7 ч	На север
5	Никольский И. В.	с. Малышевка	790 км к югу	8 ч 15 мин	На северо-восток
6	Романов М. Ф.	с. Нижне-Илимское	415 км к юго-юго-востоку	Около 8 ч	С юго-востока на северо-восток
7	Вакулин	Там же	Там же	»	С востока на северо-запад
8	Кокоулин	»	»	7 ч 15 мин	С юго-востока на северо-запад
9	Пономарев Н.	»	»	7 ч 20 мин	С юга на северо-запад
10	Полужинский Н. Н.	г. Илимск	470 км к юго-юго-востоку	Около 8 ч	?
11	Клыков Л. Д.	с. Знаменка	700 км к юго-юго-востоку	»	На юго-запад (?)
12	Кулеш Г.	г. Киренск	490 км к юго-востоку	7 ч 15 мин	На северо-запад
13	Кулеш С.	»	Там же	Около 8 ч	Там же
14	»	с. Нижнее Карелино	465 км к юго-востоку	»	»
15	»	с. Чечуйск	490 км к юго-востоку	?	»

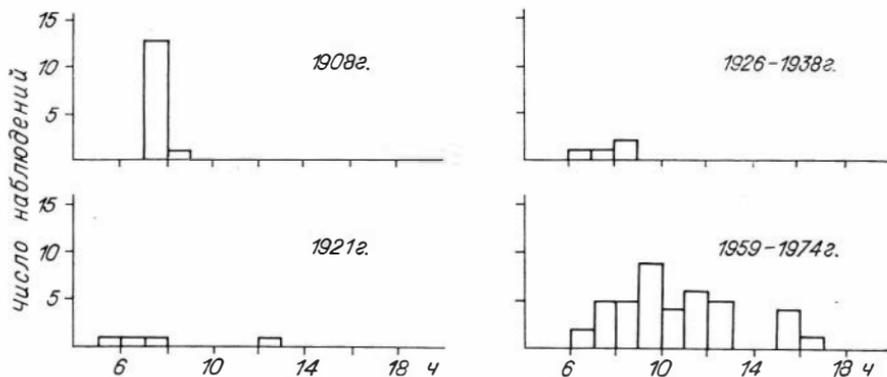


Рис. 1. Гистограмма распределения моментов пролета Тунгусского болида по наблюдениям очевидцев, собранным в разные годы.

ной долготе. Собранные в 1908 г. данные свыше 40 очевидцев о моменте сейсмических явлений также находятся в этих пределах, за исключением единичных случаев. Гистограмма времени наблюдения болида приведена на рис. 1.

О влиянии времени опроса на результаты могут свидетельствовать следующие примеры. В числе сообщений, собранных Л. А. Куликом и В. П. Гундобиним в 1921 г., имеются 5 наблюдений, где содержатся такие сведения о болиде: «утром», «в 6 часов утра», «в 5 часов утра блеск на севере» (р. Ангара — юго-западнее от места взрыва), «в июне месяце (года не помнит)... в полдень пролетела звезда с юго-запада на северо-восток» (р. Енисей — юго-западнее от места взрыва), «летом (ближе к весне), часов около восьми (до обеда)... сияние круговидной формы... пролетело в направлении от Филимонова к Иркутску», т. е. с запада на восток (г. Канск — на юго-западе от места взрыва). Данные о моменте наблюдения болида, собранные в этом году, также приведены на рис. 1.

Из 10 сообщений о болиде, собранных Л. А. Куликом и Е. Л. Криновым в 1926—1938 гг., в семи содержатся сведения о времени появления болида («в завтрак», «в 6 ч 30 мин», «в 8 ч», «в 8—9 ч»), в семи указано направление на конечную точку болида (три из них явно ошибочны) и в трех — видимое направление его движения (одно из них явно неправильное). Таким образом, более поздние сообщения о болиде, не внося новой информации, содержат ряд разногласий между собой и отличаются меньшей надежностью, чем сообщения 1908 г. Вместе с тем, как видно из рис. 1, и эти наблюдения очевидцев болида не противоречат данным об утреннем времени его пролета, полученным по результатам регистрации сейсмических волн.

Рассмотрим теперь самые поздние показания очевидцев, собранные в 1959—1974 гг. Психологи неоднократно пытались определить влияние длительности временного интервала на полноту и достоверность свидетельской информации. Исследования советских специалистов в этой области (А. Р. Ратинова, Н. И. Гавриловой) показали, что в течение трех недель информация сохраняется у испытуемых

без заметных изменений. Анализ экспериментальных материалов, полученных в результате письменного и устного отчетов испытуемых спустя пять лет после демонстрации кинофильма и затем еще через год, показал, что многие забыли значительную часть информации, в том числе и те, кто при немедленном воспроизведении давал очень точные и детальные описания. У лиц, которые не были ранее опрошены, при отсроченном на шесть лет воспроизведении показания оказались заметно менее достоверными. При этом нужно иметь в виду, что субъективное отношение свидетеля к сообщаемой информации далеко не всегда соответствует действительности и очень часто определяется свойствами личности свидетеля. Различия в поздних показаниях очевидцев, например касающихся момента времени, длительности, яркости, цвета, формы и других характеристик Тунгусского болида, отмеченные в работе Д. В. Демина и др. [3], представляют собой типичные виды ошибок свидетельских показаний.

К числу наблюдений, полученных в 1959—1974 гг., можно отнести одновременную, а на некотором расстоянии от эпицентра последовательную фиксацию болида, сотрясения почвы и звуков. Наблюдения только болида или только сотрясения могут быть обусловлены другими болидами или землетрясениями. Как следует из данных, собранных в период 1959—1974 гг. [2], диапазон времени таких «комплексных» наблюдений составляет от «раннего утра» до «после обеда», а если указаны часы — от 6 до 17 ч.

Гистограмма этих данных (41 сообщение) приведена на рис. 1, где показаны также гистограммы времени пролета болида по показаниям очевидцев, собранным в 1908, 1921 и в 1926—1938 гг. Аналогичное распределение по времени показывают данные очевидцев о моменте наблюдения только сейсмических и звуковых явлений (33 сообщения). Нельзя исключить предположение, что эти наблюдения также могут относиться к Тунгусскому падению. Число наблюдений, свидетельствующих о более раннем пролете болида, сотрясении и звуках — «утром» или «до обеда» (всего 109 сообщений), — значительно превышает число указаний на более поздний его пролет — «днем», «в обед» или «после обеда» (24 сообщения). Поэтому приведенная гистограмма достаточно представителью характеризует данные свыше 200 очевидцев.

Гистограммы времени наблюдений Тунгусского болида по показаниям очевидцев, собранным в разные годы, наглядно иллюстрируют влияние длительности временного интервала на достоверность свидетельской информации, которое привело к подобной «диффузии» данных. Ведь сейсмографы и барографы 30 июня 1908 г. зарегистрировали только одно землетрясение и прохождение воздушных волн — около 7 ч местного времени. Поэтому совершенно определенно следует считать отклонения от этого момента ошибочными, поскольку они противоречат объективным фактам. Это обстоятельство, несомненно, связано с тем, что последние наблюдения были собраны лишь через полвека и больше после события.

Кроме того, как показывает статистика визуальных наблюдений [6], число болидов ярче— 10^m составляет 20 шт. в год на 1 млн км²—

площади, примерно равной той, на которой отмечались явления, связанные с Тунгусским падением. Поэтому кроме Тунгусского болида 30 июня 1908 г. там за многие годы могли наблюдаться другие крупные болиды.

Так, среди собранных в последний период сообщений имеются сведения о наблюдении вечерних болидов, но без сейсмических и звуковых явлений и с неустановленными датами. Например, имеются 23 таких сообщения из района верховья и среднего течения р. Лены, 7 сообщений из района Прибайкалья и отдельные наблюдения из других мест. Однако нет никаких оснований приписывать эти наблюдения Тунгусскому падению. Скорее всего, они относятся к другим болидам, полет которых произошел за несколько десятков лет после падения Тунгусского метеорита.

Таким образом, заключение на основании сведений, собранных в 1959—1974 гг., о том, что 30 июня 1908 г. наблюдалось несколько болидов в разное время суток, является необоснованным.

Траектория болида. При оценке траектории болида мы отдельно рассмотрим сведения, собранные в 1908 г. (см. таблицу).

К сожалению, данные о видимости болида ограничены местоположением пунктов наблюдения, которые находятся в южном секторе по отношению к месту взрыва метеорита: от юго-запада (с. Каменское) до юго-востока (г. Чечуйск), что создает впечатление о движении болида с юга на север.

Число этих наблюдений также крайне ограничено. Всего имеется 15 сообщений, поступивших из 10 пунктов, т. е. из некоторых мест (с. Кежма, Нижне-Илимск и г. Киренск) имеется по несколько сведений, что позволяет сравнивать их между собой.

Ввиду небольшого числа наблюдений болида и приближенных указаний на его направление и угловую высоту, для определения радианта болида трудно воспользоваться применяемым в метеорной астрономии методом графического построения видимых траекторий болида на стереографической сетке [5]. Для определения азимута траектории приходится ограничиваться наиболее достоверными сведениями из каждого пункта о движении болида «справа налево» или «слева направо», а для оценки угла наклона траектории — граничными условиями видимости болида из разных пунктов в сочетании с известными данными о высоте появления быстрых болидов.

Наблюдение в крайней западной точке (с. Каменское вблизи г. Енисейска) позволяет судить о направлении болида справа налево, так как он двигался от Солнца, которое находилось в этот момент почти на востоке (азимут 83°), на северо-восток — к конечной точке болида. Указанные данные позволяют оценить минимальный азимут траектории по продолжению линии, соединяющей точку наблюдения с местом взрыва метеорита. Эта величина составляет 68° к востоку от меридиана.

Из с. Кежмы поступило два сообщения: о видимом движении болида с юга на север и с юга на северо-северо-восток, т. е. к его конечной точке. Из их сочетания можно сделать единственный вывод, что наблюдатели обзоредали северо-восточную часть небосвода и болид двигался справа налево, т. е. восточнее Кежмы.

В с. Шаманово болид наблюдался на севере, т. е. в конечной точке, поэтому выводов о направлении его движения сделать нельзя.

Наблюдение из с. Малышевки свидетельствует о видимости болида на северо-востоке, что говорит о его более восточной траектории, чем азимут Малышевки.

Аналогичный результат получается по четырем наблюдениям из с. Нижне-Илимска. Первые три из них однозначно свидетельствуют о движении болида справа налево в восточном секторе. Последнее наблюдение, правильно указывая направление на конечную точку болида, находится в противоречии с остальными относительно его начального положения и в этой части, очевидно, ошибочно.

Сообщение из с. Знаменки о «падении аэролита» на юго-западе явно выпадает из всех других наблюдений, которые правильно указывают на конечную точку болида. Возможно, здесь ошибочно указан юго-запад вместо северо-запада.

Последняя группа наблюдений из района Киренск — Нижне Карелино — Чечуйск однозначно фиксирует только направление на северо-запад — приблизительно на конечную точку болида. Кроме того, отмечается появление «огненного столба», движение светящегося тела «сверху вниз», наблюдение огненно-красного шара, двигавшегося, «по показаниям некоторых, горизонтально, а по показаниям других — весьма наклонно». На этом основании Е. Л. Кринов [12] предположил, что тело двигалось почти вертикально; таким образом, г. Киренск находился вблизи проекции траектории болида. Однако все очевидцы из этого района свидетельствуют о наблюдении болида на северо-западе, т. е. немного правее направления на эпицентр. Отсюда можно предположить, что болид двигался по более восточной траектории, чем азимут Киренска (131°). Это позволяет оценить максимальный азимут траектории болида.

Таким образом, по наблюдениям очевидцев, собранным в 1908 г., азимут траектории болида находится в интервале $70-130^\circ$ к востоку от меридиана. Как видно, азимут 99° , определенный более точно по вывалу леса, находится посредине этих пределов.

Как и в случае оценки момента пролета болида, наблюдения очевидцев менее точны, чем данные, полученные другими методами. Вместе с тем они не вступают в противоречие с другими фактами и подтверждают наличие 30 июня 1908 г. одного болида, двигавшегося в восточном секторе. Это заключение опровергает вывод работы Д. В. Демина и др. [3] о якобы наблюдавшихся в этот день по крайней мере двух болидах, двигавшихся с юга и востока и упавших в одном месте.

Следует отметить, что в работе [3], в отличие от данной статьи, были использованы результаты опросов очевидцев болида, произведенных в последние годы. При этом подавляющее большинство (приблизительно 440 из 470) наблюдений было собрано в период 1959—1974 гг., т. е. через 50—65 лет после падения Тунгусского метеорита. Казалось бы, привлечение такого большого статистического материала должно привести к более точным результатам, но в течение этих десятилетий не только могли притупиться многие впечатления, но

наблюдались и другие яркие болиды, которые очевидцы могли перепутать с Тунгусским.

Тем не менее корректная обработка всех данных наблюдений, произведенная И. Т. Зоткиным [8], также подтвердила вывод об одном болиде с наиболее вероятным азимутом от 100 до 140° к востоку от меридиана.

Кроме определения азимута, сведения о наблюдении болида можно привлечь для оценки угла наклона траектории. По данным И. Т. Зоткина [5], основанным на наблюдениях, собранных до 1965 г., угол наклона болида находится в пределах $28 \pm 12,5^\circ$ к горизонту. Угол наклона траектории этого болида был вычислен также путем математического моделирования вывала леса и оказался, по одним данным [1], 15° и менее, а по другим [10], как и по лучистому ожогу деревьев [11], — 40° к горизонту. Как видно, оба эти значения укладываются в указанные пределы. Поэтому желательно проверить, насколько они согласуются со свежими данными, собранными в 1908 г.

Как указывалось выше, наиболее надежным свидетельством о болиде является сам факт его наблюдения, т. е. видимость болида из данного пункта. Поэтому если взять пункты, наиболее удаленные от места взрыва, то, учитывая кривизну земной поверхности, предел видимости болида вблизи горизонта и максимальную высоту наблюдения болида, можно определить положение точки на проекции траектории болида, над которой он должен был появиться. Затем по расстоянию от этой точки до эпицентра взрыва и высоте появления болида можно вычислить угол наклона траектории к горизонту. При этом предполагается, что траектория была прямолинейной с постоянным углом наклона.

Наиболее удаленными от эпицентра пунктами, из которых был виден болид, являются с. Каменское (600 км к юго-западу) и с. Малышевка (790 км к югу). Азимут проекции траектории принимаем по наиболее точному его значению — 99° к востоку от меридиана. На карте вдоль этой проекции откладываем несколько точек, для которых определяем угловые расстояния от данного пункта (s) и от эпицентра (s'). Величину угла превышения над горизонтом, где можно наблюдать болид из данного пункта, обозначаем через φ .

В этом случае

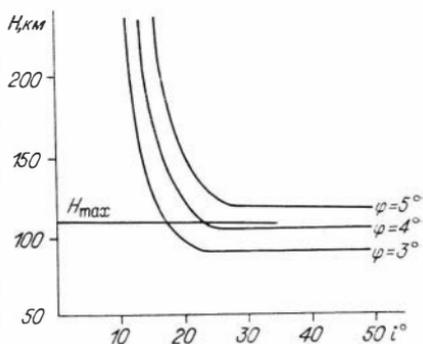
$$H = R \left(\frac{\cos \varphi}{\cos (s + \varphi)} - 1 \right), \quad (1)$$

где H — высота болида, км; R — радиус земного шара (6371 км). С другой стороны, угол наклона траектории к горизонту (i) определяется из аналогичной формулы

$$H = R \left(\frac{\cos i}{\cos (s' + i)} - 1 \right). \quad (2)$$

По формулам (1) и (2) можно установить графическую зависимость между H и i для нескольких точек с известными значениями s и s'

Рис. 2. Зависимость между высотой появления и углом наклона Тунгусского болида при наблюдении из удаленных пунктов.



при разных величинах φ . Подобный график, построенный по точкам, приведен на рис. 2.

Как видно из графика, семейство кривых для разных φ имеет перегиб. Левая часть кривых определяется удалением точек на проекции траектории от Каменского, а правая часть, где величина H почти постоянна при различных i , — удалением от Малышевки.

На основании результатов фотографической регистрации болидов [13, 16] и с учетом большой массы ($\sim 10^6$ т) и скорости (30—40 км/с) Тунгусского метеорита максимальную высоту появления болида (H_{\max}) принимаем равной 110 км, что примерно соответствует верхнему пределу подобной величины для болидов Прерийной и Европейской сетей.

Как видно из графика (см. рис. 2), величина угла φ , выше которой болид вообще не мог наблюдаться, — $4,4^\circ$. Это значение является верхним пределом угловой высоты болида для наиболее удаленных наблюдателей. Нижним пределом, когда болид кажется огненной вспышкой у края видимого горизонта, можно считать $2-3^\circ$. Возникает вопрос, на какой угловой высоте могло наблюдаться появление болида из с. Каменского как критического пункта наблюдения. Для этого рассмотрим сообщение А. Голощекина, направленное из с. Каменского в Иркутскую геофизическую обсерваторию 30 июня 1908 г. (!), т. е. по самым свежим впечатлениям: «Имею честь довести до сведения обсерватории, что 30 июня по новому стилю, в 7 ч утра в с. Каменском наблюдалось следующее явление: слышались три подземных громовых удара по направлению от северо-запада друг за другом. При этом некоторые наблюдали сотрясение. Из расспросов местных обывателей я узнал, что несколькими минутами ранее некоторые из них видели как бы оторвавшееся от Солнца тело больше аршина длиной, продолговатой формы и к одному концу суживающееся; голова у него была светлая, как Солнце, а остальная часть более туманного цвета. Тело это, пролетев пространство, упало на северо-востоке».

Как видно, здесь наблюдались не только вспышка, но и болид, имеющий значительную угловую протяженность и отчетливую форму, достаточно правдоподобно описанную. Из этого следует, что начальная фаза болида была видна, скорее всего, на угловой высоте, близкой к максимальной, т. е. около 4° . В этом случае по графику (см. рис. 2) находим точку пересечения кривой для $\varphi = 4^\circ$ с линией $H_{\max} = 110$ км, которая отвечает минимальному углу наклона траектории болида — около 25° к горизонту. В то же время большая величина наклона здесь практически не ограничена.

Этот расчет представляет собой «решающий эксперимент» для определения нижнего предела угла наклона траектории болида. Отсюда следует, что меньшие углы наклона, приводимые в некоторых работах [1, 4], оказываются в противоречии с данными наблюдений. Вместе с тем полученный результат согласуется с расчетами В. П. Коробейшикова и др. [10, 11], согласно которым величина угла наклона траектории Тунгусского болида составляет 40° . С другой стороны, приведенные данные позволяют объяснить достаточно большой угол наклона траектории болида, не прибегая к предположению о том, что наблюдали не болид, а кометное ядро на очень большой высоте [9].

Таким образом, несмотря на то что сведения, собранные в 1908 г., содержат малую количественную информацию, они, благодаря большой своей достоверности, позволяют несколько уточнить результаты обработки многочисленных наблюдений, собранных в основном в последующие годы. Так, по последним данным о радианте Тунгусского метеорита [8], азимут траектории составляет $114\text{--}138^\circ$ к востоку от меридиана, а угол наклона траектории $8\text{--}32^\circ$ к горизонту.

С учетом верхнего предела для азимута и нижнего — для угла наклона траектории, полученными в нашей работе и по совокупности всех наблюдательных данных, азимут траектории Тунгусского болида составил $114\text{--}130^\circ$ к востоку от меридиана, а угол ее наклона — $25\text{--}32^\circ$ к горизонту. Этот результат не противоречит более точным расчетам этих величин, полученным по картине вывала леса: $A = 99^\circ$ [15] и $H = 40^\circ$ [10, 11].

Автор выражает благодарность И. Т. Зоткину за советы и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштэн В. А., Бояркина А. П. Расчет воздушных волн Тунгусского метеорита // Проблемы метеоритики.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.— С. 47—63.
2. Васильев Н. В., Ковалевский А. Ф., Разин С. А., Эпиктетова Л. Г. Показания очевидцев Тунгусского метеорита.— Томск, 1981.— 304 с.— Деп. в ВИНИТИ 24.11.81, № Б350-81.
3. Демин Д. В., Дмитриев А. Н., Журавлев В. К. Информационный аспект исследований Тунгусского феномена 1908 г. // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 30—49.
4. Зигель Ф. Ю. К вопросу о природе Тунгусского тела // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Сиб. отд-ние, 1983.— С. 151—161.
5. Зоткин И. Т. Траектория и орбита Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1966.— Вып. 27.— С. 109—118.
6. Зоткин И. Т., Хотинюк Р. Л. Число крупных болидов по наблюдениям за 50 лет // Метеоритика.— 1978.— Вып. 37.— С. 37—43.
7. Зоткин И. Т., Цикулин М. А. Моделирование взрыва Тунгусского метеорита // Докл. АН СССР.— 1966.— Т. 167, № 1.— С. 59—62.
8. Зоткин И. Т., Чигорин А. Н. Определение радианта Тунгусского метеорита по визуальным наблюдениям очевидцев // Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.
9. Ковалевский А. Ф., Потанов П. Н. Об угле наклона траектории Тунгусского метеорита // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 161—165.

10. Коробейников В. П., Чушкин П. П., Шуршалов Л. В. О расчете наземных разрушений при воздушном взрыве метеорита // Космическое вещество на Земле.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— С. 54—65.
11. Коробейников В. П., Чушкин П. П., Шуршалов Л. В. Взаимодействие больших метеоритных тел с атмосферой Земли // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 99—117.
12. Кринов Е. Л. Тунгусский метеорит.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1949.— 195 с.
13. Мак-Кроски Р. Е., Шао Ци, Позен А. Болиды Прерийной сети. 1. Общие сведения и орбиты // Метеоритика.— 1978.— Вып. 37.— С. 44—59.
14. Пасечник И. П. Оценка параметров взрыва Тунгусского метеорита по сейсмическим и микробарографическим данным // Космическое вещество на Земле.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— С. 24—54.
15. Фаст В. Г., Баранник А. П., Разин С. А. О поле направлений повала деревьев в районе падения Тунгусского метеорита // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 39—52.
16. Цеплеха З. Болиды Европейской сети // Метеоритика.— 1978.— Вып. 37.— С. 60—68.

И. Т. Зоткин, А. Н. Чигорин

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИАНТА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА ПО ВИЗУАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ОЧЕВИДЦЕВ

Среди нескольких сотен известных показаний очевидцев Тунгусского падения 30 июня 1908 г., на наш взгляд, можно выделить около 300 наблюдений, имеющих астрономическое значение, т. е. содержащих те или иные данные о видимости Тунгусского болида. Подобную информацию можно использовать для определения атмосферной траектории. С этой целью свидетельские показания очевидцев Тунгусского появления рассматривались неоднократно [1, 15, 7, 3]. Однако наблюдения использовались не в полном объеме и не всегда учитывалась астрометрическая специфичность данных, получаемых от случайного свидетеля пролета болида. Поэтому представляет определенный интерес проанализировать материал, собранный в сводке «Показания очевидцев Тунгусского падения» [2]. Из собранных в различное время показаний очевидцев, из старых документов и публикаций, представленных в сводке, можно почерпнуть различные числовые или качественные параметры, полностью или частично характеризующие видимую траекторию Тунгусского болида по небесной сфере. По нашему мнению, существует несколько принципиально различных по информационной нагрузке групп наблюдательных данных.

1. Из наблюдений можно извлечь азимут и угловые высоты начала (a_H, h_H) и конца (a_k, h_k) замеченного отрезка видимой траектории, т. е. координаты двух точек. Это наиболее полный случай, когда большой круг видимой траектории строится очевидным образом.

2. Дана одна точка (a, h) и наклон или к вертикали, или альмукантарату (i) в данной точке, или к горизонту. Видимую траекторию можно построить и в этом случае.

3. Дается одна точка на видимой из какого-либо пункта траектории (a , h) болида или на ее продолжении (например, сообщается: «Болид двигался от солнца»).

4. Дается указание о том, что траектория (или ее продолжение) проходила через зенит ($h = 90^\circ$) или была перпендикулярна горизонту ($i = 90^\circ$).

5. Характерным и очень распространенным для болидных наблюдений является субъективный курсовой угол (q), т. е. сообщение типа «болид летел с юго-востока на северо-запад».

6. Показания содержат в себе существенную астрономическую информацию: указание, что болид двигался справа налево (\leftarrow) или слева направо (\rightarrow).

7. Многочисленны случаи, когда наблюдатель указывает лишь одну координату: азимут (a), высоту (h), наклон (i). Эти данные накладывают лишь некоторые ограничения на видимый путь болида.

8. Качественные оценки (высоко, низко, наклонно, сверху, спереди, сзади, далеко, приближался, снижался) могут использоваться только как подтверждающие или отрицающие уже установленную траекторию.

9. Сам факт наблюдения болида из какого-либо пункта даже при отсутствии других параметров несет астрометрическую информацию.

Числовые величины, которые в дальнейшем принимаются к рассмотрению, такие как азимуты, высоты, наклоны, представляют собой математическую модель словесного сообщения, сделанного по памяти. В случае болидных наблюдений числовые параметры могут быть довольно сильной абстракцией описательной картины, которую дают очевидцы. Например, объекту, который наблюдался «в юго-западной стороне», приходится приписывать азимут $a = 225^\circ$. Поэтому здесь неизбежен определенный произвол интерпретатора. Начиная с 50-х годов в ряде случаев при опросах очевидцев угловые координаты болида измерялись компасом и эклиметром по указанию информатора. Однако к воспоминаниям многолетней давности, естественно, следует подходить с большой осторожностью. Ошибки в этом случае, несомненно, велики и возрастают со временем.

Таким образом, мы вынуждены оперировать астрономическим материалом чрезвычайно малой точности! Тем не менее, по нашему мнению, определенные выводы о радианте Тунгусского болида сделать все же можно.

В Комитете по метеоритам АН СССР собраны многие тысячи наблюдений болидов, сделанных очевидцами. Многолетний опыт позволяет указать на несколько постоянных эффектов, свойственных подобным наблюдениям. Некоторые из них необходимо учитывать при обработке. Важнейшие из них таковы.

1. **Приближение.** Неподготовленный наблюдатель существенно недооценивает удаление болида, относя его на расстояние видимых вокруг местных ориентиров. Отсюда появляются психологически правдивые заявления «пролетел над соседней деревней», «упал за лесом», но их не следует понимать буквально. Очевидец не ощущает расстояния в сотни километров, на котором может располагаться реальная траектория.

2. **Горизонтирование.** Очевидец пытается определить направление полета болида в проекции на Землю. При этом наблюдатель неосознанно считает траекторию горизонтальной, а приближение к горизонту воспринимает как следствие перспективы. Но болиды обычно движутся наклонно, а определить пространственное расположение траектории из одного пункта нельзя. Поэтому указание типа «пролетел с юга на север» означает «ушел за горизонт на севере».

3. **Приподнимание.** Давно известно, что небесные светила, например Солнце, Луна, у горизонта кажутся человеку больше, чем в околозенитной области. Угловые размеры при этом преувеличиваются в песколько раз. Солнце или Луна, поднявшись на 2—3 диаметра, воспринимаются уже как объекты, находящиеся на достаточной высоте над горизонтом, в то время как угловой поперечник их дисков составляет лишь 30 мин! Поэтому яркие болиды отчетливо регистрируются очевидцем на угловой высоте первых градусов.

4. **Перестановки событий.** Почти во всех случаях падений метеоритов или полетов мощных болидов находятся очевидцы, которые утверждают, что звуки и сейсмы, вызванные ударной волной (не электрофонные) услышаны раньше, чем замечены световые явления, т. е. собственно болид. Явление это относится к психологии свидетельских показаний и не должно считаться чем-то необычным.

5. **Удлинение интервалов.** Опросные данные, особенно полученные через длительное время после наблюдений астрономического явления, почти всегда показывают грубые завышения длительности события. Объективно метеорные явления длятся несколько секунд при реальных скоростях и протяженности атмосферы. Тем не менее случайные, не имеющие научной подготовки очевидцы дают оценки, измеряемые минутами и более. Вероятно, этот психологический эффект объясняется тем, что интервал насыщен яркими, необычными впечатлениями. Прямого отношения к условиям видимости этот парадокс не имеет, но его полезно учитывать при верификации свидетельских показаний.

Начнем рассмотрение траектории Тунгусского метеорита с вопроса о дальности видимости болида. Как известно [2, 3], наблюдали болид около 650 человек. Подавляющее большинство очевидцев находилось в пределах радиуса 1000 км от эпицентра (точки с координатами $101^{\circ}54'$ в. д., $60^{\circ}53'$ с. ш.). Два десятка наблюдателей, бывших далее 1000 км, представляются ненадежными. Столь большая территория видимости болида на первый взгляд кажется необычной и наводит на мысль об очень длинной пологой траектории в атмосфере. Однако это совершенно необязательно.

Яркие болиды замечаются населением на расстоянии в сотни километров [11]. Геометрическая ситуация видимости далеких предметов, расположенных на высоте над земной поверхностью, отражена на рис. 1. По данным Прерийной болидной сети [14], нет инструментальных фотографических регистраций начала свечения болидов, намного превышающих 110 км. Поэтому наблюдатель имеет теоретическую возможность видеть болиды в сегменте атмосферы, ограниченном слоем с $H = 110$ км и плоскостью своего горизонта. На рас-

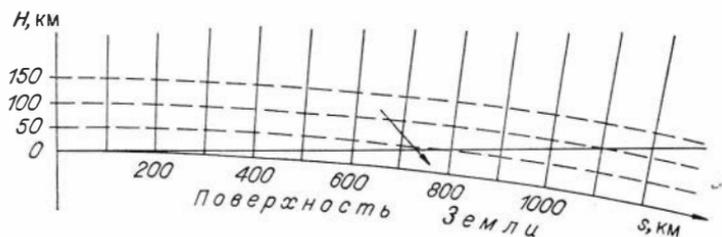


Рис. 1. Атмосферная траектория болида.

s — расстояние вдоль поверхности Земли; H — высота по местной вертикали. Кривизна Земли изображена в правильном масштабе.

стоянии $s = 1000$ км погружение земной поверхности составляет 79,5 км по местной вертикали. Так что болид, появившийся выше указанной высоты, будет виден над горизонтом наблюдателя.

Угловую высоту болида можно рассчитать по формуле

$$R \cos h = (R + H) \cos (s^\circ - h),$$

где $R = 6371$ км — радиус Земли, h — угловая высота, H — линейная высота по местной вертикали, $s_{\text{км}} = 111s^\circ$ — расстояние по поверхности Земли. Положив $H = 110$ км, $s = 1000$ км, получим $h = 1^\circ 7'$. Таким образом, для наблюдателя болид располагается довольно низко над горизонтом. Однако подчеркнем, что $1^\circ 7'$ составляет свыше трех угловых поперечников Луны и Солнца, а эти объекты хорошо наблюдаются и на меньшей высоте. Примеры видимых траекторий болидов для резких удалений, построенные на стереографической проекции небесной сферы, представлены в работе [9].

Необходимо решить вопрос, мог ли Тунгусский болид на высоте 110 км достичь яркости, достаточной для наблюдения его на дневном небе. Как известно, очевидцы утверждают, что по порядку величины он был несколько слабее Солнца. Определения интенсивности свечения в данном случае имеют очень большую неопределенность, однако, по-видимому, оценка звездной величины как $-22^m \div -17^m$ будет разумной. Заметим, что Солнце имеет -27^m , а полная Луна — 12^m звездную величину.

Фотографическая аппаратура Прерийной и Европейской болидных сетей [14] неоднократно регистрировала «быстрые кометные» болиды, которые на высоте 110 км имели $-2^m \div -3^m$ абсолютной (приведенной к расстоянию 110 км) звездной величины. Начальные массы соответствующих метеоритов (M) по тем же наблюдениям составляют доли килограмма, а размеры находятся в сантиметровом диапазоне. Чтобы представить размеры Тунгусского тела, предположим, что его блеск был 15–20 звездных величин, а следовательно, интенсивность свечения I — в $10^6 \div 10^8$ раз больше.

Интенсивность свечения метеора в начале траектории при прочих равных условиях определяется скоростью потери массы $I \sim \sim dM/dt$. Следовательно, Тунгусский болид терял массу в 10^6 – 10^8

раз быстрее, чем болид с массой 0,1 кг. Не вдаваясь в обсуждение состава и структуры Тунгусского тела, сделаем простейшее допущение: увеличение потери массы обусловлено соответствующим ростом площади поперечного сечения. Тогда его характерный размер должен в $10^3 \div 10^4$ раз превышать поперечник указанных выше фотографических болидов. Как уже сказано, эти болиды порождаются сантиметровыми телами, поэтому Тунгусский метеороид должен был иметь размеры порядка $n(10 \div 100)$ м. А если принять для него плотность ледяного кометного ядра, то масса оказывается 10^6 т. Эта оценка не противоречит современным общим концепциям.

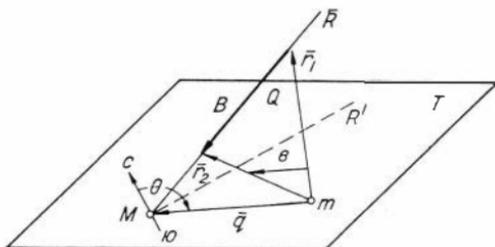
Важное место в массиве наблюдательных данных занимают указания о направлении полета, что названо нами субъективными курсами. В работе [3] авторы насчитывают свыше 330 такого рода наблюдений. В «Показаниях очевидцев» [2], по нашей интерпретации, содержится более 150 указаний на курсы. Неправильное оперирование такими данными может привести к неверным выводам. Так, например, очевидцы в районе с. Кежда нередко сообщают, что Тунгусский болид летел на север, а очевидцы в районе с. Преображенка сообщают о движении на запад. Буквальное понимание этих данных привело некоторых авторов к мысли о том, что Тунгусское тело сделало «маневр» в атмосфере [4], или о том, что Тунгусских болидов было несколько.

Очевидно, что неправильное направление (азимут) проекции траектории определяется наблюдателем только в случае, когда болид движется по вертикали. В других случаях односторонние наблюдения не способны дать истинную ориентировку траектории в пространстве. По нашему мнению, кажущийся курс болида определяется следующим геометрическим артефактом.

Допустим (рис. 2), прямая линия MR — траектория болида B , MR' — ее проекция на плоскость горизонта, m — пункт наблюдения, векторы r_1 и r_2 — направления на начало и конец болида. Очевидно, что наблюдатель m определяет только плоскость Q или большой круг видимой траектории на небесной сфере. Положение траектории в этой плоскости оценить невозможно. Однако неквалифицированный наблюдатель зрительно относит болид на расстояние предметов, образующих видимый горизонт, т. е. заведомо приближает его. Кроме того, полет болида в пространстве неподготовленный очевидец зачастую расценивает как движение вдоль поверхности Земли, если только видимый путь по небу не слишком крут. Приближение к горизонту наблюдатель психологически относит за счет перспекти-

Рис. 2. Наблюдение траектории болида.

B — истинная траектория; b — кажущаяся траектория; m — наблюдатель; M — земная точка; T — плоскость горизонта.



вы. Возможно, здесь сказывается аналогия с горизонтальным движением облаков, птиц, самолетов. Движение по прямолинейной наклонной траектории, свойственное метеоритам, вообще говоря, чуждо земным объектам.

Таким образом, зрительно наблюдатель проводит болидную траекторию как горизонтальную линию ϵ , которая параллельна направлению \bar{q} из точки наблюдения на земную точку (см. рис. 2). Иными словами, кажущееся направление полета, субъективный курсовой угол q , представляет собой направление, обратное направлению из земной точки на пункт наблюдения. Наблюдения, собранные в «Показаниях очевидцев...», подтверждают вышеприведенные доводы.

На диаграмме рис. 3 сопоставлены значения субъективного курса q и позиционного угла θ наблюдательного пункта. Обе величины отсчитываются от севера через восток. Позиционный угол представляет собой азимут направления из эпицентра в данный пункт. Заметим, кстати, что угол q группируется около круглых румбов. Оче-

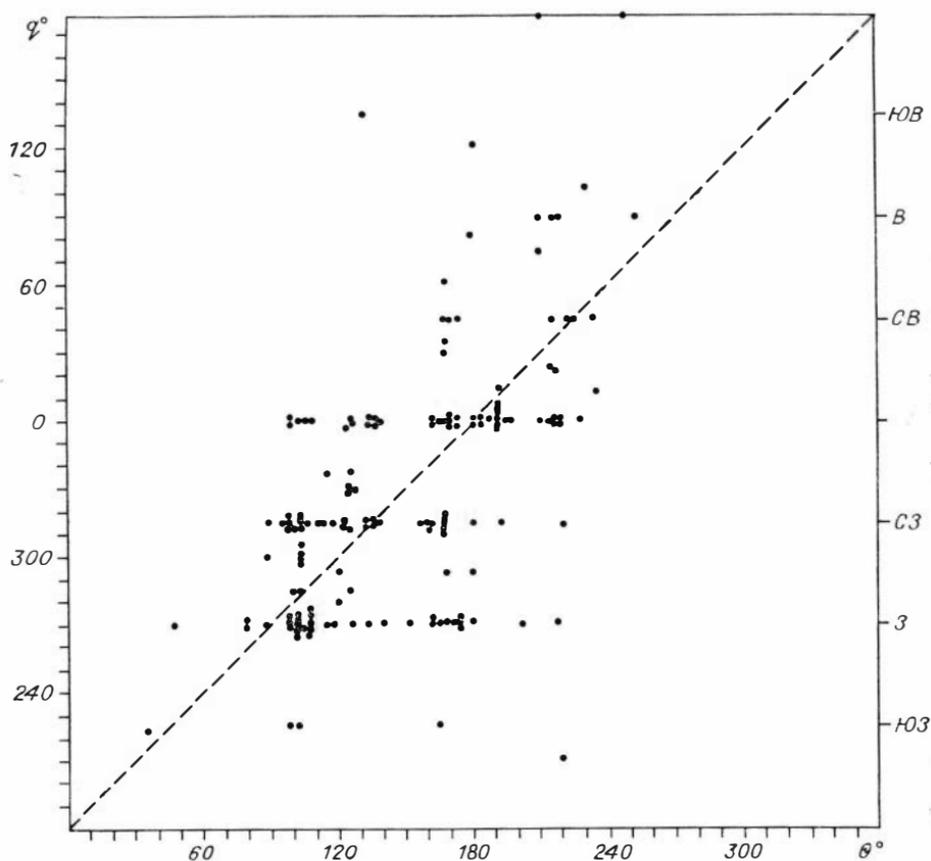


Рис. 3. Зависимость между субъективным курсом болида q и позиционным углом наблюдателя θ . Штриховая линия — $q = \theta - 180^\circ$.

видно, это следствие «грубой шкалы», которой пользуются случайные очевидцы. В тех случаях, когда указывался нереальный курс, например «юг → северо-запад», на диаграмму наносились два варианта курсового угла.

Как показывает диаграмма на рис. 3, корреляция между курсом и позиционным углом видна вполне определенно: $q = \theta - 180^\circ$. В значительной части показаний очевидцев рассмотренный эффект присутствует. Это крайне важный факт. На наш взгляд, он снимает противоречия наблюдения Тупгусского болида из разных пунктов [3], однако получению конструктивных выводов способствует мало.

Обратимся вновь к диаграмме рис. 3. На ней удобно исследовать, в каком направлении двигался болид для наблюдателей с различными позиционными углами. Линия $q = \theta - 180^\circ$, очевидно, изображает направление на земную точку. Если согласиться с восточным вариантом траектории [7] и принять для определенности азимут радианта $a_R = 115^\circ$, то наблюдатели, расположенные в интервале позиционных углов $115^\circ < \theta < 295^\circ$, отметят движение справа налево. И наоборот, в интервале позиционных углов $295^\circ < \theta < 115^\circ$ болид должен двигаться слева направо, т. е. в сторону увеличения азимута.

«Правое» или «левое» движение болида считается сильным, «чувствительным» признаком. При достаточном количестве свидетелей трасса болида на местности может определиться по нему уверенно. Однако на имеющемся материале, к сожалению, этот признак не дает результата. Из примерно 25 такого рода указаний (в секторе $115^\circ < \theta < 295^\circ$) в одной половине говорится о движении справа налево, а в другой — наоборот. Большинство опросов очевидцев было произведено лишь спустя многие годы после события, и полезная информация в данном случае существенно утратилась.

В случае тунгусских наблюдений оказывается несостоятельным и другой сильный признак, согласно которому наблюдатели, располагающиеся близко к проекции траектории, четко и согласно фиксируют вертикальное движение болида по небосводу. Из имеющегося материала наблюдений подобный эффект не усматривается. Причина, вероятно, та же: прошло слишком много времени между событием и опросом.

На диаграмме рис. 4, построенной аналогично предыдущей, против позиционного угла θ нанесены азимуты (a) даваемых очевидцами направлений на точки видимой траектории. Очевидно, что наблюдатели, имеющие $\theta < a_R$, должны видеть световую траекторию левее земной точки, а наблюдатели с $\theta > a_R$, наоборот, укажут азимуты, большие, чем направление на место падения. Таким образом, на рис. 4 точки, соответствующие наблюдателям с θ в интервале от a_R до $a_R + 180^\circ$ (таких большинство), должны бы располагаться преимущественно выше линии $a = \theta - 180^\circ$.

Однако рассмотрение диаграммы рис. 4 не показывает ожидаемого эффекта. Точки размещаются довольно хаотически. Азимуты визирования с большим разбросом находятся и выше, и ниже линии $a = \theta - 180^\circ$, т. е. около эписцентра. Это свидетельствует, во-

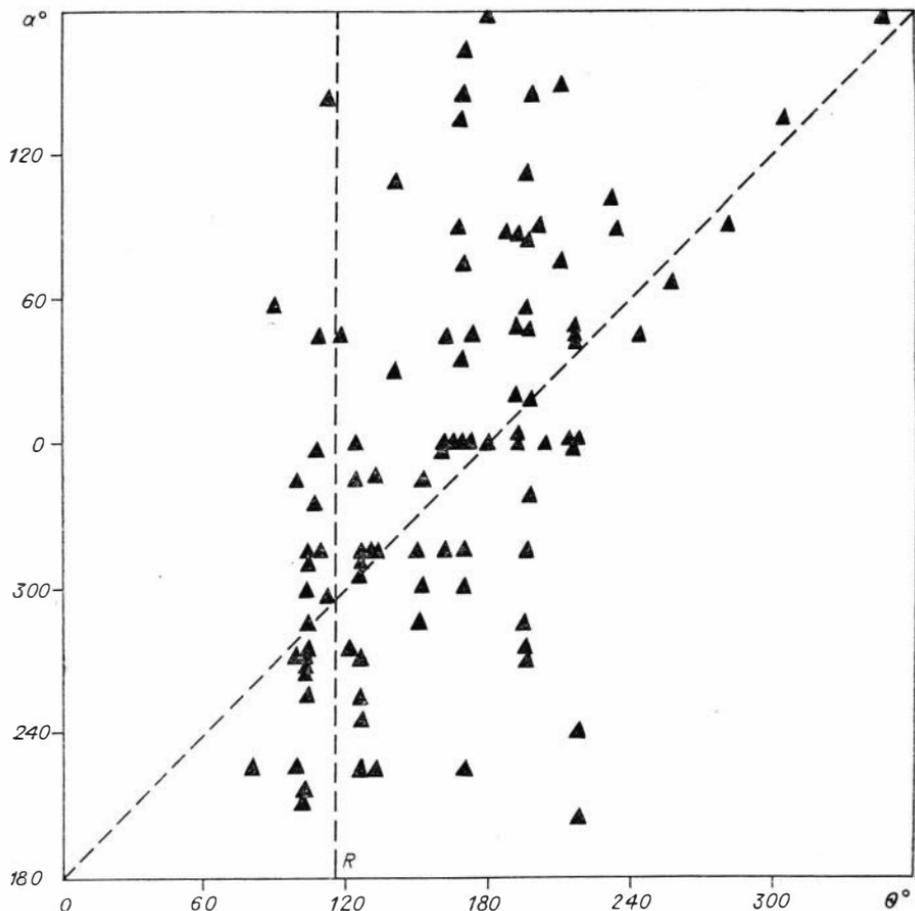


Рис. 4. Зависимость между позиционным углом наблюдательного пункта θ и азимутами α точек видимой траектории болида по показаниям очевидцев.

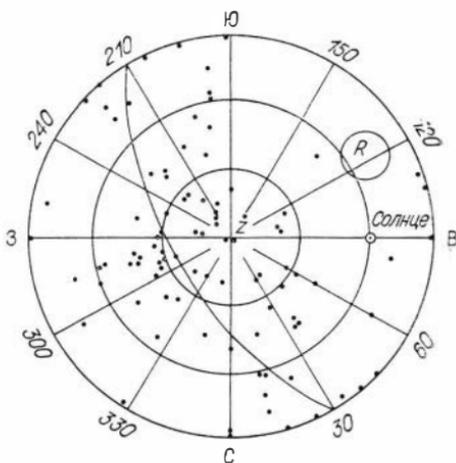
первых, о весьма больших ошибках, о крайней неточности глазомерных измерений; во-вторых, о том, что горизонтальная протяженность болида не была особенно велика. По порядку величины она является сравнимой с высотой появления. Иными словами, наклон траектории представляется умеренным.

Наиболее сильным корректным методом определения болидной траектории по многим малоточным наблюдениям является рассмотрение больших кругов видимых траекторий [5, 6]. Наблюдательные данные, известные к 1966 г., позволили с достаточной убедительностью провести видимые траектории только для нескольких пунктов [7]. По сведениям, собранным в «Показаниях очевидцев...» [2], можно, по нашему мнению, построить 90—100 больших кругов видимых траекторий (правда, включая спорные и сомнительные варианты).

Задача определения траектории Тунгусского метеорита облегчается тем, что из четырех параметров, фиксирующих положение

Рис. 5. Расположение полюсов 96 видимых траекторий Тунгусского болида на небесной сфере. Вид изнутри, полярная равнопромежуточная проекция Каврайского.

Z — зенит земной точки; R — область радианта.



прямой линии в пространстве, надо найти только два угла. Координаты пересечения траектории с горизонтальной плоскостью, т. е. земной точки, известны; как и у Сихотэ-Алинского метеорита, необходимо определить азимут и высоту радианта [12].

Чтобы уточнить геометрическую суть задачи, обратимся к рис. 2, где показана плоскость Q , построенная по материалам наблюдений из данного пункта. Если из другого пункта проведена аналогичная плоскость, то их пересечение однозначно определит прямолинейную траекторию. Но при болидных наблюдениях имеется много плоскостей, лишь приблизительно пересекающихся около линии траектории. Возникает проблема усреднения, которая решается известными в метеорной астрономии способами [12]. Чрезвычайно большие погрешности вынуждают отказаться от общих алгебраических методов и заставляют обратиться к графическим приемам.

Большие круги видимых траекторий на небесной сфере можно построить, например, на стереографической сетке Вульфа. Общая точка их пересечения дает радиант. Однако при малоточных болидных наблюдениях радиант фиксируется неуверенно. Практически удобнее рассмотреть полюса указанных больших кругов. В случае геометрически правильного пучка плоскостей все полюса располагаются на одном большом круге, полюсом которого является радиант. При реальных наблюдениях через полюса необходимо провести большой круг наиболее оптимальным образом.

На рис. 5 представлено немногим менее ста больших кругов видимых траекторий, построенных по материалам «Показаний очевидцев...» [2]. В качестве сетки выбрана равнопромежуточная проекция Каврайского с центром в зените. За основу приняты зенит и меридиан эпицентра. Топоцентрическим азимутальным координатам (a, h) в необходимых случаях придавали поправки по дифференциальным формулам перехода от одной горизонтальной системы к другой:

$$111\Delta a = -y \operatorname{tg} \varphi,$$

$$111\Delta h = -(x \cos a + y \sin a),$$

где φ — широта эпицентра, град; x, y — прямоугольные координаты пункта, км, на север и восток соответственно, Δa и Δh , град. Впро-

чем, при данной точности поправки, как правило, несущественны.

Когда для видимой траектории давались две точки, строились три варианта кругов (и полюсов), так как положение земной точки для данного пункта можно считать известным. При задании одной точки и наклона можно построить два варианта кругов и полюсов. В остальных случаях видимая траектория определяется однозначно.

Рассмотрение карты рис. 5 показывает, что уверенно провести большой круг через изображенные на полусфере полюса трудно. Значительный разброс точек наглядно показывает большую рыхлость пучка плоскостей, по которому мы пытаемся определить траекторию. Тем не менее сравнение этой картины с аналогичной картой для Сихотэ-Алинского падения [12] позволяет предположить, что ситуация не совсем безнадежна. По-видимому, имеющуюся систему точек можно усреднить большим кругом, полюс которого имеет координаты $a_R = 120^\circ \pm 20^\circ$ и $h_R = 25^\circ \pm 15^\circ$. Указанные цифры в пределах реальной точности, по существу, совпадают с нашей более ранней оценкой [7].

Проведенное графическое рассмотрение объективно полностью исчерпывает содержание наблюдений в смысле точности. Но, возможно, представляет интерес определить полюс большого круга формальным расчетным методом.

В качестве метода оптимизации для нахождения радианта воспользуемся принципом Лежандра, т. е. за радиант примем точку, для которой сумма квадратов угловых отклонений от кругов видимых траекторий минимальна: $\sum \varepsilon^2 \rightarrow \min$. Если a_R — азимут радианта, h_R — его высота, a_P, h_P — горизонтальные координаты полюса большого круга, то угловое отклонение ε можно вычислить по сферической теореме косинусов: $\sin \varepsilon = \sin h_R \sin h_P + \cos h_R \cos h_P \cos (a_R - a_P)$. Минимум суммы квадратов и ее поведение как функции горизонтальных координат можно определить методом пробного радианта [12], задавая различные значения a_R, h_R и каждый раз суммируя по всем имевшимся в нашем распоряжении $n = 96$ полюсам.

С помощью ЭВМ было вычислено достаточное количество значений стандартного отклонения $\sigma : n\sigma^2 = \sum \varepsilon^2$, по которым были построены изолинии σ в системе сферических координат. Как видно из рис. 6, величина $\sigma(a, h)$ имеет четкий, хотя и весьма пологий,

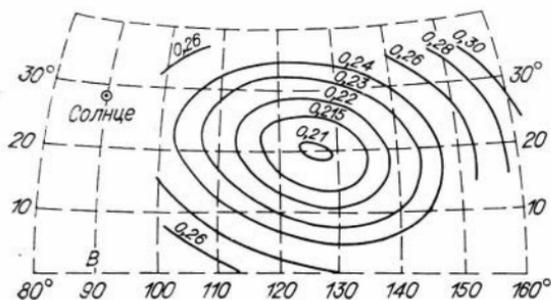


Рис. 6. Ход значений по небесной сфере среднеквадратического отклонения σ видимых траекторий от радианта. Равнопромежуточная горизонтальная проекция Каврайского. Радиант определяется минимумом σ , рад.

минимум, равный $\sigma_{\min} = 0,210 \text{ рад} = \pm 12^\circ$. Поскольку число больших кругов и соответственно полюсов, по которым находится минимум, достаточно велико, то формально среднеквадратичная ошибка положения точки $\bar{\sigma}$ должна быть меньше: $\bar{\sigma} \sqrt{n-2} = \sigma$. Однако в данной задаче отклонение одного наблюдения, по-видимому, лучше характеризует точность результата.

Таким образом, положение радианта Тунгусского метеорита таково: $a_R = 126^\circ$, $h_R = 20^\circ$, $\sigma = \pm 12^\circ$. Из рис. 6 видно также, что азимут определяется менее точно, чем угловая высота.

Указанное положение радианта позволяет сохранять в силе предположение о связи Тунгусского болида с метеорным потоком бета-Акварид и с орбитой кометы Энке [8], против которого З. Секанина выдвинул различные возражения [13]. Кроме того, умеренный наклон траектории хорошо согласуется с физическими проявлениями Тунгусской катастрофы и с математическими моделями взрывного распада Тунгусского тела, о чем говорится в работе [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Астапович П. С. Большой Тунгусский метеорит // Природа.— 1951.— № 2.— С. 23—32; № 3.— С. 13—23.
2. Васильев Н. В., Ковалевский А. Ф., Разин С. А., Эпикетова Л. Е. Показания очевидцев Тунгусского падения.— Томск, 1981.— 304 с.— Деп. в ВИНТИ 24.11.81, № Б350-81.
3. Демин Д. В., Дмитриев А. Н., Журавлев В. К. Информационный аспект исследований Тунгусского феномена 1908 г. // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 30—49.
4. Зигель Ю. Ю. Об атмосферной траектории Тунгусского тела // Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1971.— С. 16—18.
5. Зоткин П. Т. Приближенное определение траектории болида в атмосфере // Бюл. ВАГО.— 1953.— № 13(20).— С. 25—28.
6. Зоткин П. Т. Определение траектории болидов // Бюл. ВАГО.— 1960.— № 26(33).— С. 27—35.
7. Зоткин П. Т. Траектория и орбита Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1966.— Вып. 27.— С. 109—118.
8. Зоткин П. Т. Атомальные сумерки, связанные с Тунгусским метеоритом // Метеоритика.— 1969.— Вып. 29.— С. 170—176.
9. Зоткин П. Т. Форма воздушной волны Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1972.— Вып. 31.— С. 35—41.
10. Зоткин П. Т., Кринов Е. Л. Исследование условий падения каменного метеоритного дождя Кунашак // Метеоритика.— 1958.— Вып. 15.— С. 51—81.
11. Зоткин П. Т., Кринов Е. Л. Исследование обстоятельств падения каменного метеорита Никольское // Метеоритика.— 1958.— Вып. 15.— С. 82—96.
12. Зоткин П. Т., Чигорин А. Н. Уточнение радианта Сихотэ-Алинского метеорита прямым вычислением квадратов невязок // Метеоритика.— 1975.— Вып. 34.— С. 33—41.
13. Левин Б. Ю., Бронштан В. А. Тунгусское событие и метеоры с заключительной вспышкой // Астроном. вестник.— 1985.— Т. 19, № 4.— С. 319—330.
14. Мак-Кроски Р. Е., Шао Ци, Позен А. Болиды Перриной сети // Метеоритика.— 1978.— Вып. 37.— С. 44—58; 1979.— Вып. 38.— С. 106—156.
15. Сытинская Н. Н. К вопросу о траектории Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1955.— Вып. 13.— С. 86—91.
16. Явнелъ А. А. О моменте пролета и траектории Тунгусского болида 30 июня 1908 г. по наблюдениям очевидцев // Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПОЧВ РАЙОНА ТУНГУССКОГО ПАДЕНИЯ

Известно, что механические, термические и радиационные воздействия, вызывающие структурные нарушения в кристаллах, приводят к изменению термолюминесцентных характеристик последних. Поскольку перечисленными воздействиями сопровождалось и Тунгусское падение, следы их могут быть обнаружены при изучении кривых термовысвечивания минералов, входящих в почвы и горные породы данного района.

Изучение термолюминесценции (ТЛ) траппов в районе вывала леса [3, 4] показало, что в центре она несколько выше, чем на периферии. Ограниченность этого метода связана с тем, что отбор траппового материала возможен только в местах выхода пород на поверхность. Кроме того, для анализа материал подвергают дроблению, что приводит к структурным нарушениям. Для выделения плагиоклазов требуется минеральная сепарация, что делает обработку более трудоемкой.

Исследование ТЛ почв района падения Тунгусского метеорита является логическим развитием исследований ТЛ траппов и преследует цель углубленного изучения характерных особенностей термолюминесцентных свойств минералов этого района, выявленных на первом этапе исследований. Этот метод имеет ряд преимуществ:

отбор почвенных проб возможен по более густой и равномерной сетке;

исследуется валовой шлик, подвергнутый лишь магнитной сепарации;

методика отбора и обработки почвенных проб хорошо отработана [5, 7—9];

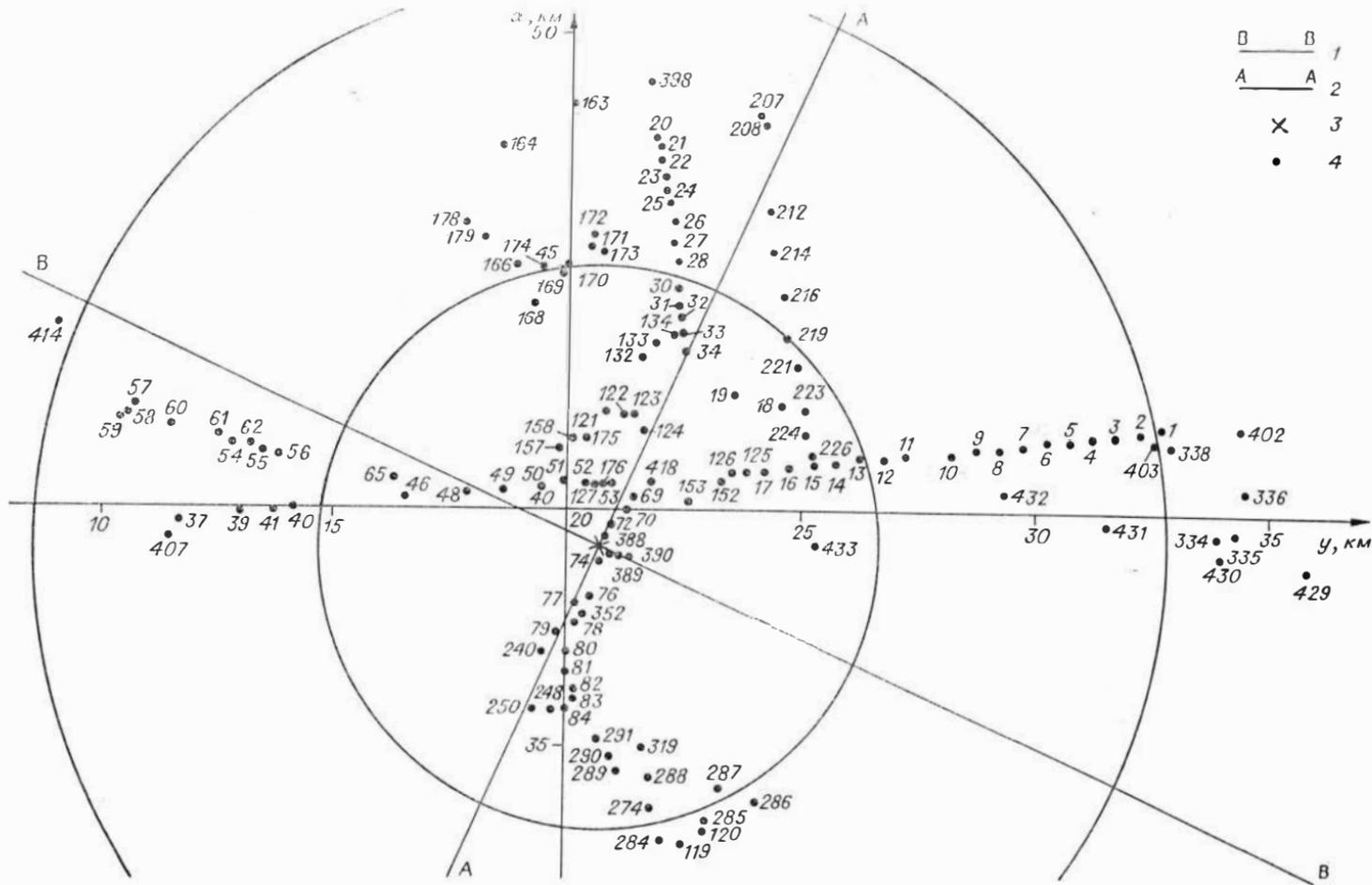
общий минеральный состав шлихов исследуемого района установлен [7, 9];

ТЛ как валового шлиха, так и большинства входящих в него минералов описана в литературе [3, 4, 6, 10, 11, 13, 15—17].

С 1976 по 1981 г. по избранной методике было отобрано более 400 почвенных проб, в основном на площади, ограниченной контуром области ожога. Около сотни проб взято вне этого контура, но внутри области вывала леса и несколько десятков — за границей вывала на юге и северо-востоке. В центральной области пробы брали с шагом в среднем 0,5 км, на периферии — 1—2 км, за контуром вывала — 4—5 км.

Схема распределения точек отбора проб по центральной части исследуемого района представлена на рис. 1.

Рис. 1. Схема отбора проб почв в центре падения Тунгусского метеорита. 1 — проекция траектории полета Тунгусского тела; 2 — перпендикуляр к проекции траектории; 3 — эпицентр взрыва; 4 — точки отбора проб. Цифры — номера проб.



$\frac{B}{A}$	$\frac{B}{A}$	1
$\frac{A}{A}$	$\frac{A}{A}$	2
\times		3
\bullet		4

Пробы отбирали по методике, описанной в [7]: с площади $0,5 \times 0,5$ м удаляли растительность, а затем на глубине от 3 до 5 см отбирали верхний почвенный слой объемом около 300 см^3 . Затем пробу промывали до состояния серого шлиха и просушивали на воздухе. (Камеральная обработка шлихового материала проведена В. А. Бидюковой.) Предварительный просмотр шлихового материала показал, что минеральная составляющая проб различается между собой по цвету и степени дисперсности. Цвет варьирует от светлого до почти черного, а величина зерен — от менее 0,1 мм до нескольких миллиметров.

Выборочный минеральный анализ шлихов пяти отобранных в различных местах района падения проб, выполненный минералогом лаборатории обогащения Новосибирского оловокомбината А. И. Зуевой, показал следующее.

Проба № 1 состоит главным образом из кварца и полевых шпатов. Встречаются единичные зерна турмалина, граната, циркона, эпидота, магнетита.

Проба № 15 содержит гематита и обохренных обломков пород 15—20%, ильменита 1—2%, турмалина до 5%, остальное — кварц и полевые шпаты.

Проба № 22 наполовину состоит из обломков выветренных пород. Остальная часть представлена главным образом кварцем и полевыми шпатами.

Пробы № 93, 226 включают несколько процентов гематита и ожелезненных обломков пород. Есть немного турмалина, слюды, единичные зерна ильменита. Остальное — кварц и полевые шпаты.

Таким образом, шлихи проб, взятых на местах, значительно удаленных друг от друга, представлены в основном кварцем и полевыми шпатами. Почти постоянно присутствуют акцессорные минералы: гранаты, эпидот, турмалин. Встречаются и тяжелые минеральные частицы: магнетит, ильменит. Пробы, отобранные в местах непосредственного выхода на поверхность трапнов, сильно обогащены обломочным материалом пород и имеют более темный цвет. Эти данные хорошо согласуются с литературными [7, 9].

В камеральный период из шлиха выделялась фракция $< 0,5$ мм, которую подвергали магнитной сепарации. Величина навески составляла около 50 мг.

Получение термолюминесцентных характеристик минеральной фракции почвенных проб проводили на установке, блок-схема которой подобна описанной в [1] и отличается лишь исполнением. Нагреватель мощностью 100 Вт обеспечивал скорость нагрева образца 60 град/мин в диапазоне температур 20—400°C. Для регистрации светового излучения применен фотоумножитель ФЭУ-35 № 1349. Напряжение питания ФЭУ 1100 ± 50 В обеспечивалось высоковольтным стабилизированным источником питания собственного изготовления. Контроль чувствительности ФЭУ осуществлялся по эталонному источнику излучения.

Нагреватель снабжен термопарой для записи хода изменения температуры образца. Выходной сигнал фотоэлектронного умножи-

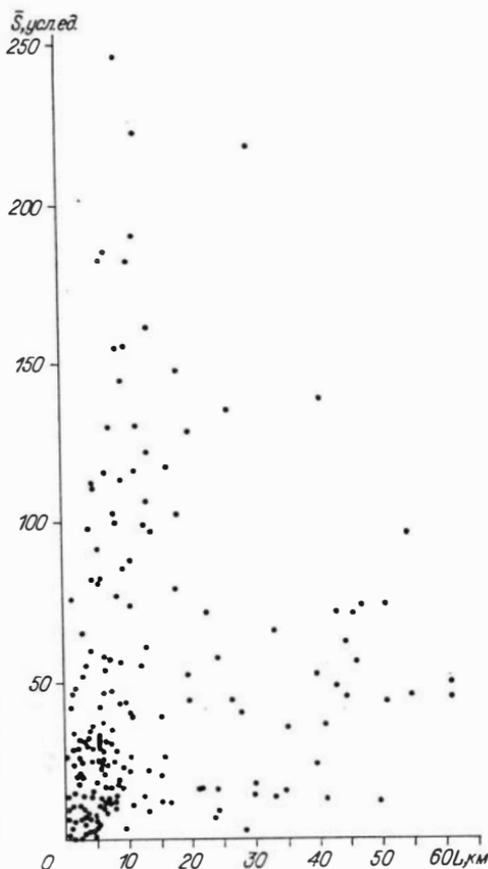
Рис. 2. Диаграмма распределения светосумм ТЛ в зависимости от расстояния точки отбора пробы от эпицентра.

теля и термоэлектродвижущей силы термопары регистрировали визуально по шкалам усилителя У5-7 и милливольтметра МП-28 соответственно. Светосумма термолюминесценции выражалась в условных единицах (усл. ед) и измерялась площадью под кривой ТЛ за вычетом фонового тока ФЭУ.

При изучении трапшов [3, 4] было установлено, что ТЛ породообразующих минералов может выступать в качестве показателя степени воздействия факторов, связанных с Тунгусским взрывом. Отмечено, что облучение жесткой радиацией может усиливать термолюминесценцию, а высокотемпературный отжиг (до 400°C) — существенно ее уменьшать. Поскольку основные компоненты исследуемых шлихов — кварц и полевые шпаты, — под воздействием этих факторов проявляют аналогичные ТЛ свойства [6, 10, 13, 15—17], естественно ожидать, что на данном материале можно получить дополнительную информацию, подтверждающую наличие выявленной аномалии.

С этой целью были изучены 193 почвенные пробы, отобранные в центральной части района падения (см. рис. 1, табл. 1). В результате анализа кривых высвечивания была определена общая светосумма термолюминесценции образцов. Для части шлихов (примерно половины общего количества) было сделано несколько параллельных замеров. Общая светосумма образца в этих случаях рассчитывалась как среднее арифметическое отдельных измерений.

На рис. 2 приводится точечная диаграмма распределения светосумм ТЛ в зависимости от расстояния точки отбора пробы до эпицентра по вывалу с координатами $x = 39,2$ км и $y = 20,7$ км (система координат по В. Г. Фасту и др. [14]). Диаграмма обнаруживает две характерные особенности распределения. В зоне от 5 до 15 км вокруг эпицентра отмечается преобладание проб с высокими значениями светосумм, а в зоне, непосредственно примыкающей к эпицентру, группируются пробы с низкими значениями светосумм.



Результаты исследования термолюминесценции минеральной фракции почв
района Тунгусского падения

№ пробы	Координаты, км		L	a	\bar{S}	№ пробы	Координаты, км		L	a	\bar{S}
	x	y					x	y			
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	41,8	32,7	12,3	28	224	59	41,8	10,4	10,6	1	74
2	41,7	32,2	11,8	4	130	60	41,7	11,5	9,5	1	4
3	41,6	31,7	11,3	3	116	61	41,5	12,5	8,5	1	18
4	41,6	31,2	10,8	3	88	62	41,3	13,2	7,8	1	10
5	41,5	30,7	10,3	3	22	65	40,6	16,3	4,6	1	1
6	41,5	30,2	9,8	4	155	69	40,3	21,4	1,3	4	34
7	41,4	29,7	9,3	3	113	70	40,0	21,3	1,0	2	4
8	41,3	29,2	8,8	1	17	72	39,6	20,9	0,5	1	14
9	41,3	28,3	8,3	3	100	73	39,3	20,8	0,2	1	43
10	41,2	28,2	7,8	4	103	74	38,9	20,7	0,3	1	26
11	41,2	27,2	6,8	4	185	76	38,2	20,5	1,0	1	42
12	41,1	26,7	6,3	3	182	77	38,0	20,2	1,3	1	6
13	41,1	26,2	5,8	3	92	78	37,7	20,2	1,6	1	15
14	41,0	25,7	5,3	3	30	79	37,4	19,8	2,0	1	20
15	41,0	25,2	4,8	3	6	80	37,0	20,0	2,3	1	26
16	40,9	24,7	4,3	3	36	81	36,6	20,0	2,7	1	25
17	40,8	24,2	3,8	1	3	82	36,2	20,2	3,0	1	14
18	42,2	24,5	4,8	1	18	83	36,0	20,2	3,2	1	31
19	42,4	23,5	4,3	1	15	84	35,8	20,0	3,5	1	55
20	47,8	21,8	8,7	1	77	85	-16,9	44,7	61,0	5	44
21	47,6	21,9	8,5	1	19	86	-16,8	45,0	61,0	5	49
22	47,3	21,9	8,2	3	14	87	-12,1	39,0	54,5	9	45
23	47,0	22,0	7,9	1	12	88	-11,9	39,2	54,3	9	96
24	46,7	22,0	7,6	1	35	89	-09,2	36,0	50,8	3	74
25	46,4	22,1	7,3	1	57	90	-09,0	36,2	50,6	3	43
26	46,0	22,2	7,0	1	13	91	-05,5	34,8	46,9	3	73
27	45,6	22,2	6,6	1	9	92	-05,3	35,0	46,7	3	56
28	45,2	22,3	6,2	1	25	93	-03,5	33,6	44,6	12	45
30	44,6	22,3	5,6	1	25	94	-03,4	33,8	44,6	3	62
31	44,3	22,3	5,4	1	33	95	-01,9	32,7	42,8	3	48
32	44,0	22,4	5,1	1	18	96	-01,7	32,9	42,7	3	71
33	43,7	22,4	4,8	2	112	97	-00,4	31,4	41,0	3	12
34	43,3	22,5	4,5	1	29	98	-00,2	31,7	40,9	3	36
37	39,7	11,7	9,0	3	56	99	00,7	29,7	39,5	3	23
39	39,9	13,0	7,7	5	129	100	01,0	29,8	39,3	3	52
41	39,9	13,8	6,9	3	24	101	05,2	27,9	34,8	3	15
42	40,0	14,2	6,5	3	58	102	05,3	28,1	34,7	3	35
46	40,2	16,5	4,3	3	98	103	06,7	26,6	33,0	1	13
48	40,3	17,8	3,1	3	65	104	06,7	26,8	33,1	3	65
49	40,4	18,6	2,4	3	32	105	09,8	26,3	29,9	1	14
50	40,5	19,4	1,8	3	48	106	09,7	26,6	30,0	1	17
51	40,6	19,9	1,6	1	76	107	15,7	25,7	24,0	3	9
52	40,5	20,4	1,3	4	29	108	15,8	26,0	24,0	3	16
53	40,5	20,9	1,3	1	46	109	18,0	24,2	21,5	3	16
54	41,3	12,8	8,2	1	28	111	19,8	24,0	19,7	1	44
55	41,2	13,5	7,5	1	47	112	19,8	24,3	19,7	1	52
56	41,1	13,8	7,2	1	12	113	24,6	24,6	15,1	1	20
57	42,1	10,7	10,4	1	39	114	24,7	24,9	15,1	1	12
58	41,9	10,6	10,5	1	26	115	26,5	24,1	13,2	3	22

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
116	26,5	24,4	13,2	1	9	208	48,1	24,1	9,5	3	85
117	29,2	24,0	10,5	1	40	212	46,3	24,2	7,9	3	25
118	29,2	24,2	10,6	1	11	214	45,4	24,3	7,2	3	17
119	33,0	22,5	6,5	1	21	216	44,5	24,5	6,5	3	12
120	33,3	23,0	6,3	1	17	219	43,6	24,6	5,9	3	13
121	42,1	20,8	2,9	1	5	221	43,0	24,8	5,6	3	81
122	42,0	21,2	2,8	1	7	223	42,1	25,0	5,2	3	5
123	42,0	21,4	2,9	1	10	224	41,6	25,0	4,9	3	4
124	41,7	21,6	2,7	1	20	226	41,1	25,2	4,9	9	111
125	40,8	23,8	3,5	1	9	240	37,0	19,5	2,5	1	7
126	40,8	23,5	3,2	1	2	248	35,8	19,7	3,5	1	30
127	40,5	20,6	1,3	1	11	250	35,8	19,3	3,7	1	32
132	43,1	21,5	3,9	1	7	274	33,8	21,9	5,5	1	29
133	43,5	21,8	4,4	1	3	284	33,1	22,1	6,3	1	31
134	43,7	22,3	4,8	1	0	398	49,0	21,7	9,9	1	44
152	40,6	23,3	3,0	3	52	402	41,8	34,4	13,9	4	161
153	40,2	22,6	2,1	1	18	403	41,6	32,5	12,0	4	190
157	41,3	19,8	2,3	1	0	406	39,0	04,0	16,7	1	12
158	41,5	20,1	2,4	1	11	407	39,4	11,5	9,2	10	246
163	48,5	20,0	9,3	1	23	410	47,5	00,8	21,6	1	16
164	47,7	18,5	8,8	1	43	413	45,2	06,3	15,6	1	26
166	45,1	18,8	6,2	1	10	414	43,8	09,0	12,6	1	14
168	44,3	19,2	5,3	1	31	418	40,6	21,8	1,8	3	29
169	45,0	19,8	5,7	1	42	421	38,0	50,4	29,7	5	218
170	45,2	20,0	6,0	1	23	422	38,2	48,8	28,1	5	40
171	45,5	20,4	6,3	1	47	423	38,9	47,3	26,6	3	44
172	45,8	20,5	6,6	1	54	424	38,9	45,2	24,5	3	57
173	45,4	20,7	6,2	1	37	425	38,8	43,1	22,4	5	71
174	45,1	19,4	6,0	1	28	426	38,6	40,8	20,1	3	128
175	41,5	20,4	2,3	1	21	427	38,7	38,8	18,1	3	102
176	40,5	20,8	1,3	3	24	428	39,1	37,1	16,4	3	117
178	46,0	17,7	7,4	2	30	429	38,9	35,8	15,1	3	39
179	45,7	18,1	7,0	1	115	430	39,1	34,0	13,3	3	106
207	48,3	24,0	9,7	3	144	431	39,7	31,5	10,8	5	182
						432	40,4	29,3	8,7	5	154
						433	39,3	25,3	4,6	5	82

Примечание. \bar{S} — средняя светосумма термолюминесценции, усл. ед.: L — расстояние от эпицентра, км; a — количество параллельных замеров; x — координата направления юг — север; y — то же, запад — восток (система координат по В. Г. Фасту и др. [14]).

Возникает вопрос, случайно ли такое распределение или оно носит закономерный характер, обусловленный действием одного или нескольких факторов, изменяющих уровень термовысвечивания минералов?

Разобьем область вокруг эпицентра на следующие зоны (см. рис. 1): а) круг радиусом 6 км вокруг эпицентра; б) кольцо радиусом от 6 до 12 км; в) площадь к северу от линии В — В, совпадающей с направлением восточного варианта траектории; г) площадь к югу от линии В — В; д) площадь к востоку от линии А — А перпендикулярно В — В; е) площадь к западу от линии А — А. Построим гистограммы распределения светосумм ТЛ внутри выделенных зон (рис. 3, табл. 2). Разделим каждую гистограмму на две

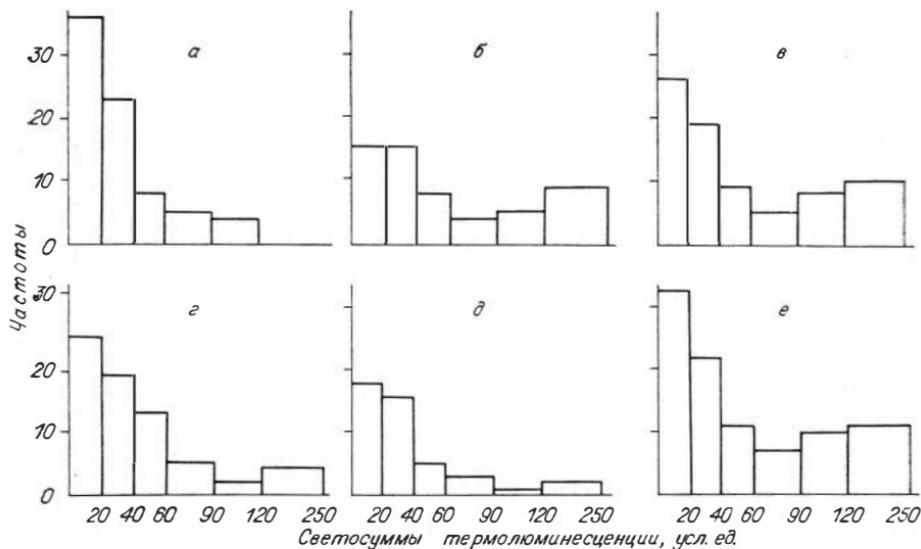


Рис. 3. Гистограммы распределения светосумм ТЛ внутри зон вокруг эпицентра.

части, объединив интервалы в пределах 0—60 усл. ед. и 60—250 усл. ед.

Рассмотрим следующие пары зон: *a* и *б*, *в* и *г*, *д* и *е*.

Для каждой пары будем решать задачу следующего вида [2]. Пусть N объектов расклассифицированы по двум парам признаков, вследствие чего возникают четыре класса, и пусть x_{11} , x_{12} , x_{21} , x_{22} — количество объектов в этих четырех классах. Нужно проверить, будут ли обе пары признаков независимыми. Построим таблицы сопряженности признаков 2×2 (вида табл. 6.8 [12]).

Т а б л и ц а 2

Частотное распределение светосумм ТЛ внутри выделенных зон

Интервалы значений светосумм ТЛ (Усл. ед.)	Зоны					
	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>
0—20	36	15	26	25	18	33
21—40	23	15	19	19	16	22
41—60	8	8	9	13	5	11
Σ	67	38	54	57	39	66
61—90	5	4	5	5	3	7
91—120	4	5	8	2	1	10
121—250	—	9	10	4	2	11
Σ	9	18	23	11	6	28

Достоверность различий пар признаков можно оценить по критерию хи-квадрат [2]:

$$\chi^2 = \frac{(x_{11}x_{22} - x_{12}x_{21})^2 N}{(x_{11} + x_{12})(x_{21} + x_{22})(x_{11} + x_{21})(x_{12} + x_{22})}$$

Расчет для зон *a* и *б*, *в* и *г*, *д* и *е* дает значения 8,17; 3,77 и 4,46 соответственно.

Так как для таблицы сопряженности 2×2 число степеней свободы равно единице [12], то достоверность различий признаков для зон *a* и *б* устанавливается с уровнем значимости 0,5% ($8,17 > 7,88$), для зон *в* и *г* — 10% ($3,77 > 2,71$) и для зон *д* и *е* — 5% ($4,46 > 3,84$).

Таким образом, группирование проб с пониженными значениями светосумм в зоне *a* и с повышенными значениями светосумм в зоне *б* нельзя объяснить чисто случайными причинами. Кроме того, расчет для зон *в* и *г*, *д* и *е*, а также анализ гистограмм (см. рис. 3) позволяют заключить, что эффект понижения светосумм ТЛ преобладает на юге и западе от эпицентра.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Метод изучения ТЛ минеральной фракции почвенных проб может быть использован как средство изучения некоторых последствий Тунгусского падения.

2. Статистическая обработка полученных данных выявила аномалию в распределении светосумм ТЛ почвенных образцов вокруг эпицентра катастрофы. Повышение уровня термовысвечивания в зоне до 15 км вокруг эпицентра маскируется более мощным эффектом его ослабления в ближней зоне (до 6 км вокруг эпицентра). Эффект понижения ТЛ тяготеет к юго-западу.

3. Выявленные особенности подтверждают наличие аномалии в термовысвечивании минералов, установленное при изучении ТЛ траппов района падения.

В заключение автор выражает благодарность Д. В. Демину за помощь в обработке и интерпретации

Таблица 4
Сопряженность светосумм ТЛ в выделенных зонах

Зоны	Интервалы значений светосумм, усл. ед.		Σ
	0-60	60-250	
<i>a</i>	67	9	76
<i>б</i>	38	18	56
Σ	105	27	132
<i>в</i>	54	23	77
<i>г</i>	57	11	68
Σ	111	34	145
<i>д</i>	39	6	45
<i>е</i>	66	28	94
Σ	105	34	139

Таблица 3
Сопряженность символических обозначений и частот

<i>A</i> \ <i>B</i>	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	Σ
<i>A</i> ₁	<i>x</i> ₁₁	<i>x</i> ₁₂	<i>x</i> ₁₁ + <i>x</i> ₁₂
<i>A</i> ₂	<i>x</i> ₂₁	<i>x</i> ₂₂	<i>x</i> ₂₁ + <i>x</i> ₂₂
Σ	<i>x</i> ₁₁ + <i>x</i> ₂₁	<i>x</i> ₁₂ + <i>x</i> ₂₂	<i>N</i>

A — выделенные пары зон; *B* — объединенные интервалы значений светосумм; *N* = *x*₁₁ + *x*₁₂ + *x*₂₁ + *x*₂₂.

результатов и считает своим долгом отметить большое техническое и организационное содействие, которое оказал на начальном этапе исследований безвременно умерший заведующий астрономической обсерваторией Клуба юных техников СО АН СССР В. И. Кириченко.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочвар И. А., Кеirim-Маркус Н. Б. Нагревательное устройство для исследования термолюминесценции // Приборы и техника эксперимента.— 1961.— № 6.— С. 139—140.
2. Варден ван дер Б. Л. Математическая статистика.— М.: ИЛ, 1960.— 406 с.
3. Василенко В. Б., Демин Д. В., Журавлев В. К. Термолюминесцентный анализ пород из района Тунгусского падения // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 227—231.
4. Васильев Н. В., Журавлев В. К., Демин Д. В. и др. О некоторых аномальных эффектах, связанных с падением Тунгусского метеорита // Космическое вещество на Земле.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976.— С. 71—87.
5. Васильев Н. В., Кухарская Л. К., Болркина А. П. и др. О механизме стимуляции роста растений в районе падения Тунгусского метеорита // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980.— С. 195—202.
6. Даниельс Ф., Бойд Ч., Саундерс Д. Термолюминесценция как средство научного исследования // Успехи физ. наук.— 1953.— Т. 51, вып. 2.— С. 271—286.
7. Журавлев В. К., Демин Д. В., Вронский Б. П. и др. Результаты шлихового опробования и спектрального анализа почв из района падения Тунгусского метеорита // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 99—111.
8. Кириченко Л. В., Гречушкина М. П. О радиоактивности почвы и растений в районе падения Тунгусского метеорита // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1963.— С. 139—152.
9. Кирова О. А. О минералогическом изучении проб почв из района падения Тунгусского метеорита, собранных экспедицией 1958 г. // Метеоритика.— 1961.— Вып. 20.— С. 32—39.
10. Комов И. Л., Хетчиков Л. Н. Термолюминесценция природного кварца // Физические исследования кварца.— М.: Наука, 1975.— С. 57—61.
11. Леснов Ф. П., Лысаков В. С. Новые данные по люминесценции плагоклазов основного состава // Геология и геофизика.— 1979.— 1.— С. 140—144.
12. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений.— М.: Наука, 1971.— 576 с.
13. Овчинников Л. Н., Максенков В. Г. Об использовании термолюминесценции в геологии // Проблемы геохимии.— М.: Наука, 1965.— С. 507—510.
14. Фаст В. Г., Болркина А. П., Бакланов М. В. Разрушения, вызванные ударной волной Тунгусского метеорита // Проблема Тунгусского метеорита.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— Вып. 2.— С. 62—104.
15. Хютт Г. П., Смирнов А. В. Дозиметрические свойства природного кварца и перспектива использования его для термолюминесцентного датирования геологических объектов // Изв. АН СССР. Сер. физ.— 1977.— Т. 41, 7.— С. 1367—1369.
16. Шехмаметьев Р. П. Влияние радиоактивных излучений на термолюминесценцию природного кварца // Оптика и спектроскопия.— 1973.— Т. 34, вып. 3.— С. 505—509.
17. Шехмаметьев Р. П., Пор Г. Термолюминесценция плавленного кварца, облученного заряженными частицами // Оптика и спектроскопия.— 1975.— Т. 39, вып. 5.— С. 987—988.

ТУНГУССКИЙ ФЕНОМЕН И ГЕОМАГНИТНЫЙ РЕЖИМ 1908 г.

Геокосмическая обстановка. В исследованиях [2, 3, 11, 16] был обнаружен ряд атмосферных аномалий, прямо свидетельствующих о сложной обстановке в геокосмосе (имеются в виду атмосфера, ионосфера, магнитосфера, магнитоотражающий слой) в 1908 г. Среди них, например, спад геомагнитной активности, нарушение электропроводности в ионосфере, обилие светлых зорь и серебристых облаков и т. п. Рост числа регистраций аномальных явлений в Северном полушарии к концу июня говорит о необычном моменте в геопланетарном состоянии 1908 г., при котором геофизический отклик на аномальную активность Солнца формировался в основном в Северном полушарии. Обособленность 1908 г. по наблюдательным данным подтверждается и приборными регистрациями, поэтому изучение характеристик параметров геомагнитной обстановки является необходимым.

Новые результаты были получены на основе анализа международных геомагнитных планетарных характеристик [9, 12], которые представляют собой геомагнитные среднесуточные десятибалльные (0, 1, 2, ..., 9) индексы С9. Среднесуточные индексы были соотнесены с солнечными оборотами и проанализированы с целью выявления геомагнитного режима 1908 г. Для этого исходные табличные данные из каталога 2 [12, с. 97] были пересчитаны в табл. 1 в зависимости от встречаемости того или иного балла из общей шкалы значений индекса С9. Строкам в этой таблице соответствуют номера земных суток в солнечном обороте, а столбцам — баллы значений С9. Таким образом, представилось возможным оценить значение (вес) каждого балла общей шкалы С9 для 1908 г. Этот вес, по существу, обозначает встречаемость (частоту) данного балла на исследуемом интервале времени. Подобные подсчеты проведены и для предыдущих лет для получения многолетней средней встречаемости данного балла в ряду регистраций (подсчета) С9, и для сопряженных с 1908 г. годов.

На рис. 1 приведены результирующая кривая (в процентосодержании) за 1908 г. и многолетняя средняя предшествующих годов. Наблюдается резкое расхождение в характере геомагнитных обстановок 1908 г. и предыдущих 57 лет. Следует выделить две особенности этого различия: 1) в 1908 г. значительно снижается встречаемость геомагнитных индексов средней интенсивности; 2) в 1908 г. высока частота встречаемости слабых возмущений и сильных и очень сильных бурь (более чем в 2 раза по отношению к многолетним). Выборочные проверки на обнаружение аналогов по признаку высокой болидной активности 1908 г. не подтвердились. Нет аналогов и среди сопряженных годов (в цикле и бицикле), т. е. 1908 г. в геомагнитном режиме оказывается отчетливо выделенным. Этот результат и подтверждает исследования Н. П. Чиркова [19, 20].

Встречаемость С9 за 1908 г. (в земной посуточной развертке)

№ п/п	Индексы С9							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	2	1	6	5	0
2	0	1	1	4	3	3	3	0
3	2	4	1	5	0	0	0	2
4	3	6	2	1	0	0	1	1
5	2	5	0	1	1	3	1	0
6	1	1	2	2	3	2	3	0
7	0	1	2	0	2	3	3	3
8	1	0	1	2	5	0	4	0
9	0	1	2	3	1	4	1	2
10	2	2	3	4	1	1	1	0
11	2	6	1	4	0	0	1	0
12	2	5	4	2	0	1	0	0
13	5	5	0	0	2	2	0	0
14	1	6	3	1	2	1	0	0
15	3	4	2	3	1	1	0	0
16	1	4	1	2	3	1	1	1
17	2	2	1	2	2	4	1	0
18	2	1	1	2	2	4	1	0
19	3	1	2	1	4	2	1	0
20	1	6	2	1	2	2	0	0
21	1	5	3	1	2	0	2	0
22	3	2	3	4	1	0	0	1
23	2	2	5	2	1	1	0	1
24	2	1	3	3	0	2	2	1
25	0	3	4	2	0	2	0	3
26	0	2	2	1	2	3	4	0
27	0	1	0	0	1	8	2	2
	41	70	51	55	42	55	37	17

Выявление распределения интенсивностей бурь по С9 указывает на детальные характеристики геомагнитного режима 1908 г., которые позволяют сделать предположение о процессе фильтрации интенсивностей геомагнитных возмущений в 1908 г., причем механизм фильтрации связан с природой некоторых видов солнечно-земных взаимосвязей. В первую очередь это будут взаимосвязи, сцепляющие геоэффективные солнечные процессы с гелиочувствительными геомагнитными явлениями. В частности, предположение о существовании «фильтра» геомагнитной активности в 1908 г. косвенно подтверждается анализом оценок «суммарного энергетического параметра» каждых земных суток в солнечном обороте. Для этого табл. 1 была пересчитана в табл. 2 путем умножения значения балла на его встречаемость в каждом дне земных суток. Таким путем был получен некоторый временной ряд ($n = 27$) энергетических нагрузок земных суток в солнечном обороте. На рис. 2 приведена кривая для суточного суммарного значения С9. Обозначившиеся три максимума и минимума выявляют периодизацию этих значений. Наличие активных солнечных долгот образует временной период в 8 дней, что подтвер-

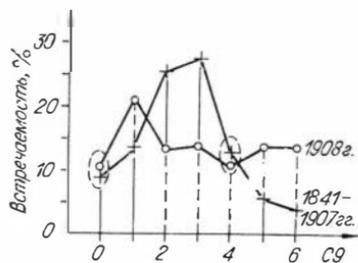


Рис. 1. Встречаемость значений геомагнитных обстановок по шкале энергетического параметра C_9 .

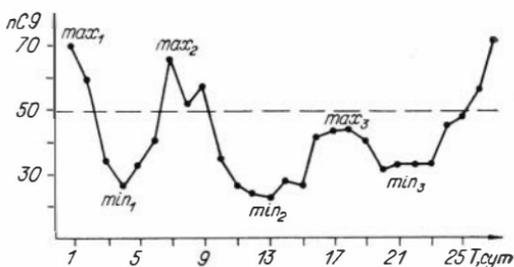


Рис. 2. Гелиопериодизация геомагнитной активности (в посуточной развертке для 1908 г.).

ждается кривой (рис. 3) спектра, полученного по методу максимальной энтропии (без окон сглаживания).

Гелиообстановка. Для оценки Тунгусского феномена «сверху», со стороны активности Солнца, также обратимся к результатам исследования Н. П. Чиркова. Обнаруженная им 22-летняя повторяемость максимума геомагнитной активности и скорости солнечного ветра в четных и нечетных циклах солнечной активности оказалась весьма специфичной именно для 1908 г. Реконструкция особенностей структуры межпланетного магнитного поля, его двухсекторная конфигурация, преимущество высокоскоростных потоков солнечного ветра, в основном дипольное общее магнитное поле Солнца, меридиональные или субмеридиональные ориентации токового слоя — вот существенные характеристики солнечного режима для интересующего нас интервала времени [20].

В это же время, согласно [7, 22, 23], усиливаются солнечная активность, яркость короны, радиоизлучение Солнца, растет число солнечных вспышек и крупных солнечных пятен. Для четных циклов характерно достижение максимума геомагнитной активности вслед солнечной. В четырех циклах из пяти такая сцепленность явно прослеживается. В 14-м же цикле (рис. 4) выраженного максимума геомагнитной активности нет. Максимум aa -индекса размазан в течение

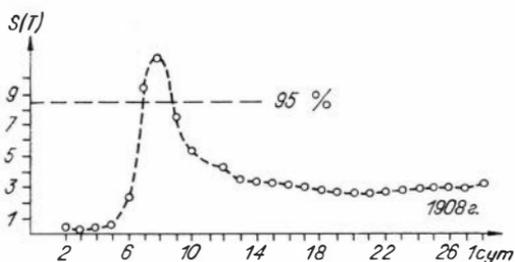


Рис. 3. Спектр, полученный методом максимальной энтропии по ряду земносуточных значений энергетических показателей C_9 (на все солнечные обороты 1908 г.).



Рис. 4. Отсутствие максимума геомагнитной активности в 14-м солнечном цикле (по данным Н. П. Чиркова).

Расчетные данные (произведение индексов С9 на встречаемость)

№ п/п	Индексы С9							Сумма
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0	0	6	4	30	30	0	70
2	1	2	12	12	15	18	0	60
3	4	2	15	0	0	0	14	35
4	6	4	3	0	0	6	7	26
5	5	0	3	4	15	6	0	33
6	1	4	6	12	10	18	0	41
7	1	4	0	8	15	18	21	66
8	0	2	6	20	0	24	0	52
9	1	4	9	4	20	6	14	58
10	2	6	12	4	5	6	0	35
11	6	2	12	0	0	6	0	26
12	5	8	6	0	5	0	0	24
13	5	0	0	8	10	0	0	23
14	6	6	3	8	5	0	0	28
15	4	4	9	4	5	0	0	26
16	4	2	6	12	5	6	7	42
17	2	2	6	8	20	6	0	44
18	1	2	6	8	20	6	0	43
19	1	4	3	16	10	6	0	40
20	6	4	3	8	10	0	0	31
21	5	6	3	8	0	12	0	34
22	2	6	12	4	0	0	7	33
23	2	10	6	4	5	0	7	34
24	1	6	9	0	10	12	7	45
25	3	8	6	0	10	0	21	48
26	2	4	3	8	15	24	0	56
27	1	0	0	4	40	12	14	71

трех лет, хотя вершина максимума соответствует именно 1908 г., году падения Тунгусского метеорита. Если учесть общегодовую специфику геомагнитного режима, при котором были подавлены возмущения средней интенсивности, то несостоявшийся геомагнитный максимум *aa*-индекса свидетельствует о глобальном геофизическом отклике на внешнее солнечное воздействие.

Исследование солнечной активности за это время путем анализа флуктуаций солнечной активности вскрыло дополнительные факты о выделенности 1908 г. в отношении режима Солнца. В частности, по флуктуациям процессов пятнообразования (*W*) 14-го цикла обнаружено (методом повторного сглаживания), что в 14-м цикле было два максимума — в 1905 и 1907 гг. Таким образом, колебания солнечной активности, увеличиваясь, со временем достигли критических величин к 1908 г. и способствовали генерации аномальных явлений на Солнце. Именно эти явления могли наложить коррекцию на обычный ход геомагнитных процессов и вызвать целый ряд геофизических явлений, кульминировавших во взрыве на Тунгуске на территории Восточно-Сибирской магнитной аномалии. Связывая причину геомагнитной выделенности 1908 г. с аномальными явлениями на Солнце,

Крупные болиды 1908 г.

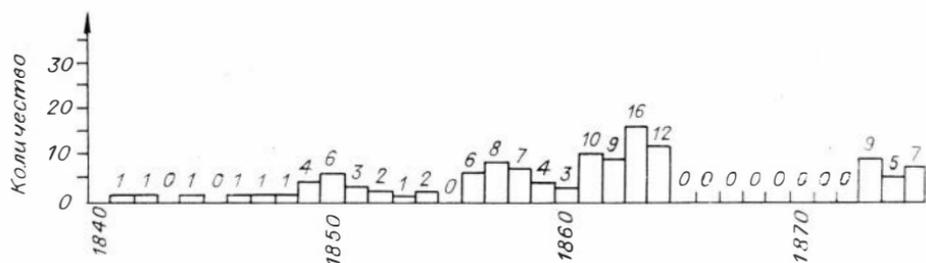
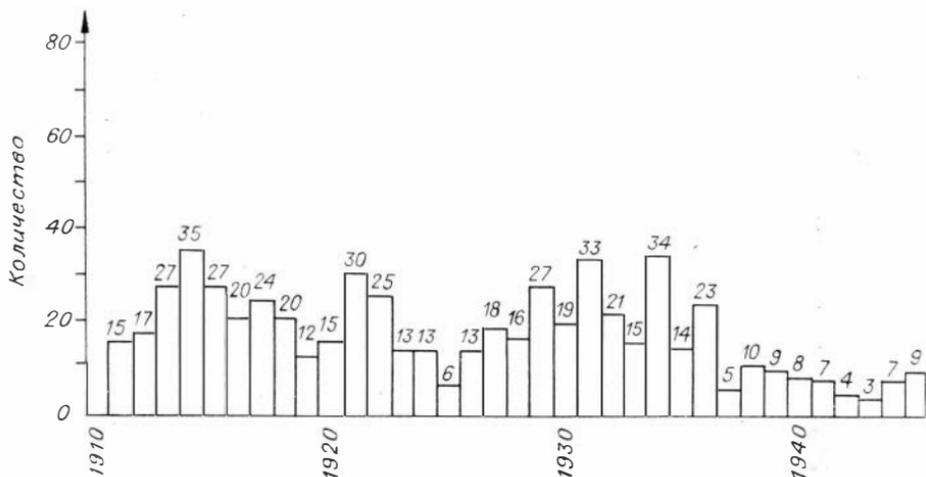
№ п/п	Месяц	Число	Номер оборота Солнца	Номер земных суток	С9	Примечание
1	2	20	1610	15	0	[24]
2	5	17	2143	21	3	[24]
3	5	19	2220	23	2	[24]
4	5	28	0027	5	5	[24]
5	6	28	2342	9	2	[24]
6	7	1	2115	12	2	[24]
7	7	28	2306	12	1	[24]
8	8	3	0007	18	4	[24]
9	8	3	2005	18	4	[24]
10	8	24	2055	13	5	[24]
11	9	14	2048	6	2	[24]
12	9	18	1910	10	3	[24]
13	10	14	2110	9	5	[24]
14	10	24	0049	19	5	[24]
15	11	12	1825	11	3	[24]
16	11	7	0700	6	3	[24]
17	11	17	0632	16	7	[24]
18	7	18	0420	2	5	«Взорвался» без шума [2]
19	8	10	1530	23	3	Зеленый [2]
20	8	16	4000	4	0	Медленно перемещался [2]
21	8	25	0331	13	4	Медленно перемещался, раздвоился [2]
22	8	21	1500	8	7	Сложное длительное явление [2]
23	9	7	1340	3	5	То же
24	10	3	1500	22	3	Шар яркий, двигался горизонтально [2]
25	11	2	1800	1	4	Изменение цвета объекта [2]

можно говорить о периодизации этого события и о том, что такое глобальное гелиогеофизическое явление представляет собой звено в солнечно-земных взаимосвязях.

Дополнительные замечания. Анализ общепланетарной обстановки 1908 г. в интересующем нас ракурсе целесообразно дополнить следующими замечаниями.

Болидную обстановку 1908 г. мы трактовали, вслед за [2, 16], как аномально высокую [8—11]. Попытка уточнить это обстоятельство привела нас к анализу каталогов регистрации болидов [3, 14, 15, 17, 18, 24, 25], которые обстоятельно отображают мировые данные по болидной активности*. Согласно гистограмме (рис. 5), 1908 г. является заурядным годом по частоте встречаемости этих об-

* Под болидом понималось явление в его классическом определении — как полет в атмосфере яркого светящегося образования, краткосрочный (несколько секунд), иногда сопровождающийся акустическими явлениями.



разований. Перечень болидов, приведенный в работе Д. Ф. Анфиногенова и Л. И. Будаевой [2], также внесен в общий список 1908 г. (табл. 3). Более близкое рассмотрение свойств болидов, указанных в работе, убеждает нас в том, что «болиды Анфиногенова» своими характеристиками выходят далеко за рамки классического понимания болидов и по скоростям перемещений, и по длительности, и по светимости. Поэтому подобные образования мы относим к классу энергофоров — образований газово-полевой структуры, которым присущи особые свойства [10].

Динамическую картину 1908 г. можно дополнить постоянными особенностями района Тунгусского феномена. Имеются достаточные указания на локальные свойства и на возможное функциональное значение мировой Восточно-Сибирской магнитной аномалии [4, 5, 11]. Эти указания можно усилить также и следующими фактами. Согласно формулировке [21], мировые аномалии представляют собой своеобразные ловушки. Результат многолетних исследований с помощью искусственных спутников Земли показал, что различные виды излучений и вертикальные перетоки частиц в районе мировых аномалий сопровождаются гибелью частиц в гигантских «мешках», нависающих вплоть до верхних слоев атмосферы (до высоты 200 км). Постоянно действующий «насос» частиц из радиационного пояса в районе Тунгусского феномена может

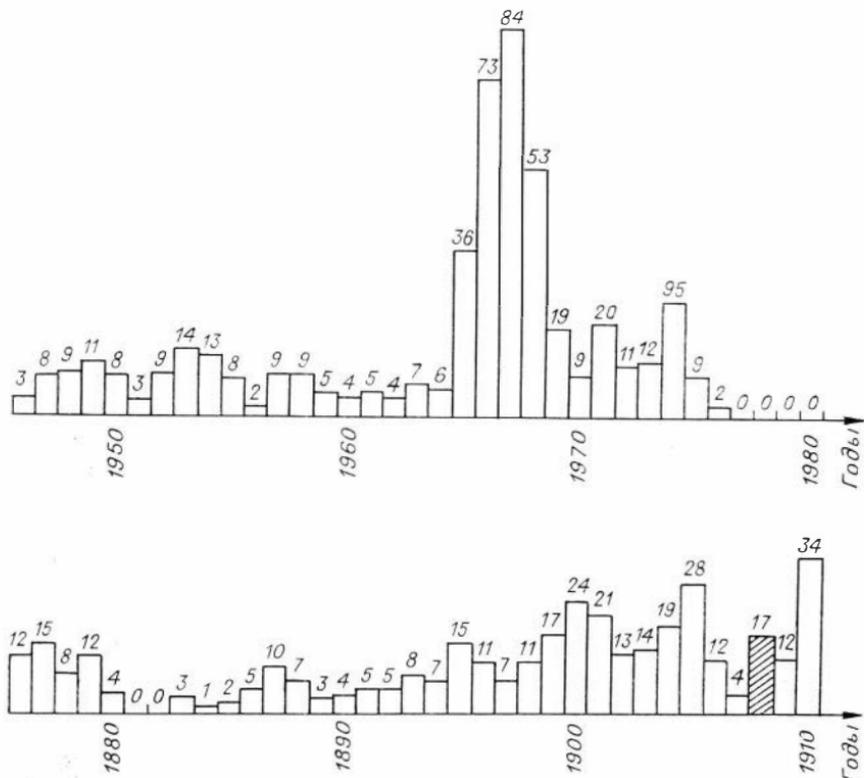


Рис. 5. Гистограмма встречаемости ярких болидов.

работать и в спорадическом режиме, при котором высыпание частиц образует вертикальные потоки до высот 30—40 км [6].

Итак, можно сделать следующие выводы:

1) аномальная деятельность Солнца 1908 г. могла привести к переполнению радиационных поясов и, таким образом, обусловить более интенсивный сток частиц в регионы с особой геолого-геофизической спецификой;

2) именно эти стоки «вниз» могли повлиять на характер электропроводности ионосферы и вызвать красочный ряд вторичных эффектов в стратосфере и ионосфере (яркие зори, свечение неба и др.). На наш взгляд, подавляющее число наблюдений (включая и метеоданные), связанных с Тунгусским феноменом, обязано этим вторичным процессам;

3) существование фактов, свидетельствующих о магнитно-сопряженных процессах на планете, наличие локальной геомагнитной бури как отклик на сложный электромагнитный процесс в регионе Восточно-Сибирской аномалии — все это говорит о возможной фокусировке условий плазмогенерации и плазподдержания, что и способствовало прямому вторжению образований солнечного происхождения;

4) многочисленные свидетельства и регистрации разнообразных «взрывов», «стуков», «разрядов», «канонады» подводят к некоторой модели Тунгусского взрыва. Удобство работать с «одним взрывом» и привело к «одновзрывной» модели, которая становится господствующей на протяжении десятков лет, вопреки наблюдательным данным (неувязки с сейсмическими записями). Наиболее же правдоподобно говорить о серии сближенных во времени и пространстве «взрыво-разрядов» популяции плазмоедов, связанной с аномальной обстановкой солнечно-земных взаимосвязей.

* *
*

1. Выявление геокосмического режима 1908 г. (1028—1041 солнечные обороты) и специфика солнечной деятельности указывают на особую динамическую обстановку в солнечно-земных взаимосвязях, которая характеризуется общепланетарным откликом на аномальную активность Солнца. Состав и энергетика геомагнитных и электромагнитных процессов в геокосмосе свидетельствуют о широких возможностях генерации разнообразных вторичных процессов.

2. Геолого-геофизическая специфика отдельных регионов Земли (тектонофизические и геомагнитные условия) локализует солнечно-земные взаимодействия в определенных точках. Основной причиной локализации аномальных солнечно-земных взаимодействий является Восточно-Сибирская магнитная аномалия.

3. В условиях возможного переполнения радиационных поясов стоки частиц в район мировой аномалии могли создать вертикальную колонну зарядов, вызывая нарушение общего режима электропроводности в ионосфере. Они спровоцировали геофизический отклик, и начавшийся процесс «воздействие—отклик» вывел район из обычного режима функционирования геофизических полей.

4. Наращивание энергии взаимодействия в цикле «воздействие—отклик» со временем расширило реакционную зону гибели частиц и их дальнейшего поступления сверху. Создались условия для возникновения плазменных неоднородностей и снизилось сопротивление возможным инъекциям (плазмоедам солярного происхождения).

5. Тунгусская проблема является частью цепи солнечно-земных взаимосвязей и может помочь исследованию генерации, существования и разрушения класса устойчивости плазменных образований [1, 10] в Солнечной системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альвен Х., Арреннус Г. Эволюция Солнечной системы.— М.: Мир, 1979.— 511 с.
2. Анфиногенов Д. Ф., Будаева Л. И. Болиды лета — осени 1908 г. в средних широтах Евразии в связи с проблемой Тунгусского метеорита // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 22—29.

3. Астапович П. С. Метеорные явления в атмосфере Земли.— М.: Физматгиз, 1958.— 540 с.
4. Белов А. В., Бенькова Н. П., Ишков В. Н. и др. Особенности гелиогеофизической активности ноября — декабря 1982 г. // Геомагнетизм и аэронаомия.— 1986.— Т. 26, № 1.— С. 18—23.
5. Валп Т. П., Надубович Ю. А., Шумилова Н. А. Геофизическое распределение полярных сияний в районе станции Норильск // Исследования по геомагнетизму, аэронаомии и физике Солнца.— М.: Наука, 1983.— Вып. 66.— С. 99—106.
6. Верно С. Н. Внешний радиационный пояс Земли на высоте 320 км // Докл. АН СССР.— 1961.— Т. 140, № 4.— С. 787—791.
7. Гневнышев М. Н. Корона и 11-летний цикл солнечной деятельности // Астроном. журнал.— 1983.— Т. 40, № 2.— С. 401—412.
8. Демин Д. В., Дмитриев А. Н., Журавлев В. К. Информационный аспект исследований Тунгусского феномена 1908 г. // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 30—49.
9. Дмитриев А. Н., Журавлев В. К. Тунгусский феномен 1908 года — вид солнечно-земных взаимосвязей.— Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1984.— 143 с.
10. Дмитриев А. Н., Журавлев В. К. Тунгусский феномен 1908 года — корональный микротранзистент // Геология и геофизика.— 1986.— № 4.— С. 10—19.
11. Журавлев В. К., Дмитриев А. Н. Гелиофизическая гипотеза природы Тунгусского феномена // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 128—141.
12. Зосимович П. Д. Геомагнитная активность и устойчивость корпускулярного поля Солнца.— М.: Наука, 1981.— 191 с.
13. Кулик Л. Бразильский двойник Тунгусского метеорита // Природа и люди.— 1931.— № 13-14.— С. 6—11.
14. Любарский К. А. Статистическое изучение болидов // Метеоритика.— 1954.— Вып. 11.
15. Мак-Кроски Р. Е., Шао Ци, Позен А. Болиды Прерийной сети. 1. Общие сведения и орбиты // Метеоритика.— 1978.— Вып. 37.— С. 44—59.
16. Ночные светящиеся облака и оптические аномалии, связанные с падением Тунгусского метеорита // Васильев Н. В., Журавлев В. К., Журавлева Р. К. и др.— М.: Наука, 1965.— 112 с.
17. Ромиг М., Ламар Д. Аномальные звуки и электромагнитные явления, связанные с полетом болидов // Метеорная материя в атмосфере Земли.— М.: Наука, 1966.— С. 38—68.
18. Цеплева З. Болиды Европейской сети // Метеоритика.— 1978.— Вып. 37.— С. 60—68.
19. Чирков Н. П. Солнечная и геомагнитная активность и Тунгусский феномен // Космическое вещество и Земля.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986.— С. 215—217.
20. Чирков Н. П., Самсонов И. С. 22-летняя цикличность скорости солнечного ветра и геомагнитной активности // Геомагнетизм и аэронаомия.— 1984.— Т. 24, № 3.— С. 300—303.
21. Явление стока частиц радиационных поясов Земли над отрицательными планетарными магнитными аномалиями. Открытие № 237 // Бюл. Гос. комитета СССР по изобретениям.— М., 1981.— № 24.
22. Gnevyshev M. N. Essential Features of the 11-Year Solar Cycle // Solar Phys.— 1977.— V. 51.— P. 175.
23. Gnevyshev M. N., Mikhailusta U. P. Stability of the Photometric Observation of the Solar Corona and Variations of its Intensity in the Solar Cycle 21 // Solar Phys.— 1984.— V. 90.— P. 177—184.
24. Nielsen A. V. Catalogue of bright meteors.— Denmark, 1968.— 91 p.
25. Prior Q. T., Hay M. M. Catalogue of meteorites.— British Museum, 1953.— 432 p.

ТУНГУССКОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ТЕЛО — ЯДРО КОМЕТЫ

Среди немногочисленных объективно и точно (инструментально) зарегистрированных откликов Земли на вторжение и взрыв Тунгусского космического тела (ТКТ) недостаточно исследованными до последнего времени остаются атмосферно-оптические эффекты. К ним прежде всего следует отнести специфические и значительные изменения спектральной прозрачности атмосферы P_λ^* в течение сезона 1908 г., которые обнаруживаются в измерениях, проводившихся под руководством Ч. Аббота [18] сотрудниками Астрофизической обсерватории Смитсоннианского института (САО) на ст. Маунт-Вилсон в Калифорнии.

Впервые для оценки параметров ТКТ к этим данным обратился В. Г. Фесенков, предположивший, что зафиксированное в них значительное помутнение, начавшееся, по его оценке, на 17-й день после Тунгусской катастрофы, обусловлено прохождением над Маунт-Вилсон сильно запыленной воздушной массы, образовавшейся в ее результате [15]. В 1982 г. группа исследователей [32, 33] попыталась интерпретировать эти данные для проверки результатов модельных расчетов воздействия ТКТ на атмосферу. С нашей точки зрения, и в той, и в другой работах использованы неадекватные допущения, приведшие их авторов к неверным результатам. Проанализировав результаты данных САО, перечислим основные расхождения с [15, 32] которые и послужили побудительным мотивом к написанию этой статьи.

1. Помутнение атмосферы под воздействием ТКТ вызвано не ее запылением при вторжении и взрыве этого тела: ТКТ практически не внесло пыли в атмосферу, и этим, в частности, объясняется кратковременность оптических аномалий в Евразии после его вторжения.

2. Возрастание оптической плотности атмосферы τ_λ^{**} в сентябре — октябре связано не с прохождением продуктов ТКТ над Маунт-Вилсон, а, как и помутнение ее в мае — июне, с облаком пыли, образованным в стратосфере другим космическим объектом.

3. Спектральный ход усредненного значения аэрозольной составляющей $(\bar{\tau}_a)_\lambda = f(\lambda)$ в мае — октябре 1908 г. не аппроксимируется зависимостью $(\bar{\tau}_a)_\lambda = b\lambda^{-1,5}$, полученной в работе [15], и не соответствует представленной в [33] зависимости $(\tau_a)_\lambda = b\lambda^{-1}$ во всем исследуемом диапазоне спектра. Для определения $(\tau_a)_\lambda = f(\lambda)$ в данной

* $P_\lambda = \left(\frac{I}{I_0} \right)_{\Delta\lambda}$, где $I_{\Delta\lambda}$ — интенсивность прямой солнечной радиации под слоем атмосферы на данной высоте при внеатмосферной интенсивности ее $(I_0)_{\Delta\lambda}$ в узком спектральном интервале $\Delta\lambda$ с центром при длине волны λ .

** $\tau_\lambda = -\ln P_\lambda$; $\tau_\lambda = [\tau_R + \tau_a + \tau_n]_\lambda$, где составляющие полной оптической плотности атмосферы: τ_R — релейская для $h = 1740$ м над ур. м. (гора Вилсон), τ_a — аэрозольная (рассеяние и поглощение), τ_n — поглощение в газах.

ситуации нельзя использовать в сине-красном отношении $\lambda = 0,4$ мкм, так как $\tau_{0,4}$ в этот период относится преимущественно не к аэрозольному ослаблению, а к поглощению в полосе NO_2 с максимумом при $\lambda = 0,4$ мкм.

4. В качестве фонового (т. е. относящегося к невозмущенной атмосфере) значения τ_λ вместо среднего значения его для периода 1909—1911 гг. лучше использовать значение, осредненное по данным за 1911 г., так как к этому времени произошло более полное очищение атмосферы (восстановление ее оптических свойств) после возмущений 1908 г.

5. Нельзя признать оправданными отказ от вычисления составляющих оптической плотности для 1908 г. непосредственно по измерениям этого года и использование методики косвенного их определения экстраполяцией данных для периода 1909—1911 гг.

6. Из-за того что зависимость $(\tau_a)_\lambda = f(\lambda)$ имеет сложный ход в области спектра (0,4—0,8 мкм), для определения $\Delta\tau_{O_3}$ и концентрации озона нельзя использовать линейное приближение для ее аппроксимации, как это сделано в работе [33].

В результате предварительных расчетов, проведенных с учетом сформулированных выше требований и некоторых других обстоятельств, к обсуждению которых мы приступаем, нами получена масса ТКТ по крайней мере на порядок больше, чем в [16].

О ПЕРЕНОСЕ ПОСЛЕКАТАСТРОФНОЙ ВОЗДУШНОЙ МАССЫ

Поступление продуктов разрушения ТКТ и его взаимодействия с атмосферой из Восточной Сибири ($\varphi \approx 60^\circ$) на юг Калифорнии ($\varphi \approx 34^\circ$) нуждается в обосновании, т. е. необходимы доводы в пользу версии о связи помутнения атмосферы над Маунт-Вилсон с трансформацией воздушной массы под воздействием ТКТ. Самые общие соображения для обоснования этого предположения сводятся к тому, что начавшаяся примерно с 16 июля 1908 г. и заметно возрастающая вплоть до 4 августа 1908 г. мутность атмосферы, беспрецедентная по величине и длительности за период наблюдений с 1905 по 1911 г. включительно, не носит локального, местного характера. Но заметные увеличения оптической плотности атмосферы (с максимумом 4 июня и 4 октября) наблюдались в 1908 г. и до, и после вторжения ТКТ. И если более позднее помутнение допустимо на первый взгляд связать с глобальным влиянием Тунгусской катастрофы, то необходимо объяснить причину первого помутнения и установить его происхождение, определив время и место его возникновения, чтобы решить вопрос о связи или независимости этих событий. В работе [15] такой вопрос вообще не ставится, а авторы работы [33] отказались от непосредственного анализа этих данных и попытались экстраполировать на 1908 г. временную зависимость модельно исследуемых параметров за 1909—1911 гг.

Следующий шаг состоит в том, чтобы оценить принципиальную возможность поступления воздушной массы из Восточной Сибири в Калифорнию на 16-й день после Тунгусской катастрофы, трансформировавшей эту массу. Так как наиболее интенсивное воздействие ТКТ на атмосферу произошло в районе восходящего участка среднеширотной ячейки меридиональной циркуляции (ячейка Ферреля), нисходящая часть которой, опрокидывающая воздушную массу из стратосферы в тропосферу, как раз приходится на широты $\varphi \approx 30-35^\circ$, можно допустить, что установившаяся к началу мая летняя циркуляция (западный перенос) могла транспортировать эту массу в нижней стратосфере ($h = 15-19$ км) с минимальными потерями в район расположения единственной в то время в мире станции, производившей точные и систематические спектральные измерения прозрачности атмосферы. Погода над Маунт-Вилсон в период после 16 июля 1908 г. характеризовалась по условиям наблюдений преимущественно как хорошая, очень хорошая и исключительно хорошая, т. е. воздушная масса из Сибири могла быть обнаружена в месте наблюдения. Но могла ли она прийти к Маунт-Вилсон на 16-й день? По известным координатам исходного и конечного пунктов легко определить, что при указанной продолжительности пути скорость транспортировки воздушной массы должна была составить около 50 км/ч. Такие скорости в западном переносе в этом сезоне оказываются возможными в ячейке Ферреля, что доказывается значительным помутнением атмосферы над станцией Парк Сен-Мар (Париж) 4—6 июля 1908 г. (т. е. средняя скорость переноса замутненной массы и на этой части траектории 50 км/ч). Чисто динамический подход для установления точных сроков прохождения послекатастрофной воздушной массы над Маунт-Вилсон непродуктивен, так как модели глобальной циркуляции значительно расходятся с ее реализацией в отдельные годы и сезоны. Но в этом и нет необходимости, поскольку спектральные данные о состоянии атмосферы в исследуемый период предоставляют исследователю достаточно надежные ориентиры.

Легко заметить также, что с 16 июля по 12 августа включительно увеличение оптической плотности атмосферы совпадает по времени и хорошо коррелирует со скачкообразным и значительным увеличением (в среднем примерно на 50%) влажности на уровне подстилающей поверхности, которая, как установили наблюдатели САО, довольно жестко связана с общим влагосодержанием (w), составлявшим в то время в среднем 1,2 см осажденной воды. Вряд ли можно считать замеченную синхронность случайным совпадением, так как столь значительного и длительного изменения влажности больше не наблюдалось. Следовательно, мы получаем косвенное подтверждение прохождения в этот период над Маунт-Вилсон специфичной воздушной массы. Во все остальные периоды влажность и мутность атмосферы в этом пункте изменяются, как правило, в противофазе.

Для более определенного суждения об атмосфере и событиях, вызвавших ее помутнение в различные периоды (май — июнь; июль — август и сентябрь — октябрь), необходимо прибегнуть к более сложному анализу данных САО о спектральной прозрачности

атмосферы с разделением остаточной оптической плотности $(\tau - \tau_R)_\lambda$ в полосах поглощения на газовую и аэрозольную составляющие, что увеличивает информативность данных и позволяет проследить за величиной и изменением содержания каждой из компонент атмосферы.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ О СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ

При разработке алгоритма программы для разделения полной оптической плотности в точках спектра, принадлежащих полосам поглощения NO_2 с $\lambda_{\text{max}}^* = 0,4$ мкм и O_3 с $\lambda_{\text{max}} = 0,6$ мкм, т. е. в точках с λ 0,35; 0,40; 0,45; 0,5; 0,6; 0,7 мкм, необходимо было сделать упрощающие модельные предположения. На участках спектра с $\lambda \geq 0,8$ мкм, т. е. в точках с λ 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,6 мкм остаточное ослабление солнечной радиации предполагалось сугубо аэрозольным. Релеевская составляющая рассчитывалась (на уровне $h = 1740$ м — высота Маунт-Вилсон) по методике Пенндорфа [30] для неизотермической атмосферы, моделируемой по Р. Мак-Клатчи [27] (для среднеширотного лета). Для оценки влияния водяного пара, находящегося в основном в тропосфере, на остаточную оптическую плотность $\Delta\tau_\lambda$ использована методика, предложенная Ф. Фоулем [24]. Установленная им на обширном экспериментальном материале эмпирическая зависимость, относящаяся именно к данным САО, справедлива для условий на Маунт-Вилсон и к тому же чрезвычайно проста: $\Delta\tau_{w,\lambda} = w \cdot \ln a_{w,\lambda}$, где $\Delta\tau_{w,\lambda}$ — поправка к $\Delta\tau_\lambda$ при общем влагосодержании w , см осажденной воды; $a_{w,\lambda}$ — спектральный множитель, зависящий и от величины влажности. И использованные нами сечения поглощения σ_λ для NO_2 и O_3 и соответствующие спектральные оптические плотности для фонового общего содержания молекул двуокиси азота ($n_{\text{NO}_2} = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$) и молекул озона ($n_{\text{O}_3} = 7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$) приведены в табл. 1.

Разделение $\Delta\tau_\lambda$ на составляющие в каждой точке производится итерационным методом с учетом информации о результате ее разделения в предыдущей (напомним, что в опорной точке при $\lambda = 0,8$ мкм $\Delta\tau = \tau_a$) и с использованием метода наименьших квадратов для каждой из компонент. За наиболее вероятный спектральный ход $\tau_{a,\lambda}$ принимается максимально гладкая его зависимость от длины волны.

Перечисленные выше узловые моменты алгоритма программы разделения составляющих нуждаются в некоторой детализации, но прежде — несколько слов о точности разделения. Она колеблется в зависимости от рассматриваемой ситуации от 15—20% до величины, примерно в 2 раза большей, что вместе с погрешностью исходных

* λ_{max} — длина волны, на которую приходится максимум поглощения в полосе.

Таблица 1

Средние за 1911 г. (наиболее близкие к фоновому состоянию) составляющие спектральной оптической толщины атмосферы над Маунт-Вилсон и систематические погрешности на рассеяние

№ п/п	λ , мкм	0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0	1,2	1,6
1	τ_λ	0,468	0,304	0,203	0,138	0,106	0,049	0,030	—	0,022	0,024	0,021
2	τ_R	0,520	0,298	0,183	0,119	0,056	0,030	0,018	0,011	0,007	0,003	0,001
3	$\Delta\tau_w$	0,030	0,023	0,018	0,014	0,009	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
4	σ_{O_3} , см ²			$2,5 \cdot 10^{-22}$	$1 \cdot 10^{-21}$	$4,8 \cdot 10^{-21}$	$9 \cdot 10^{-22}$					
5	τ_{O_3}			0,002	0,007	0,034	0,006					
6	σ_{NO_2} , см ²	$5,2 \cdot 10^{-19}$	$5,5 \cdot 10^{-19}$	$4,6 \cdot 10^{-19}$	$2,2 \cdot 10^{-19}$	$0,4 \cdot 10^{-19}$	$5 \cdot 10^{-21}$					
7	τ_{NO_2}	0,003	0,003	0,002	0,001	—	—					
8	τ_a	0,008	0,008	0,007	0,007	0,007	0,006	0,006	0,008	0,009	0,015	0,014
9	$\Delta\tau_p$	0,093	0,028	0,009	0,010	(0,004)						
10	$(\Delta\tau_p/\tau_R)$, %	19	10	5,5	8(3)							
11	$\Delta\tau'_p$	0,08	0,02	0,006	0,001							
12	$\overline{\Delta\tau}_\lambda$	-0,082	-0,017	0,002	0,005	0,041	0,013	0,006	—	0,009(!)	0,015	0,014
13	$\Delta\tau_{1911} - \overline{\Delta\tau}_0$		0,027	0,013	-0,008	0,013	0,009					

Примечание. Для строки 5 $n = 7 \cdot 10^{18}$ мол. O₃/см², для строки 7 $n = 5 \cdot 10^{15}$ мол. NO₂/см².

данных о прозрачности и используемых табличных данных может доводить ее до 50%. Ошибка разделения $\Delta\tau_\lambda$ на составляющие значительно уменьшается для тех из них, которые имеют существенно возросшую в сравнении с фоновыми значениями величину. Но и фоновые составляющие разделяются достаточно уверенно, так как для них известен спектральный ход $\tau_{a,\lambda}$, особенно при высоких прозрачностях [11]. Это справедливо и для малых прозрачностей, т. е. при больших значениях $\tau_{a,\lambda}$, если в силу своей принадлежности к аэрозолю определенного происхождения она сохраняет специфику спектрального хода. Поскольку требование максимальной гладкости $\tau_{a,\lambda}$ в ее спектральном ходе из-за малого числа точек, в которых ведется разделение, устраняет детали в промежутках между точками, то в этих промежутках к ошибкам разделения добавляются еще ошибки интерполяции. Но существенные изменения компонент устанавливаются достаточно надежно, что и является основной целью разделения остаточной оптической плотности атмосферы на составляющие.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Правомерность использования принятого нами модельного значения $\tau_{R,\lambda}$ для условий на Маунт-Вилсон проверялась на осредненных за сезон наблюдения данных на 1911 г. (рис. 1). Отрицательные значения разностей $\Delta\tau_\lambda = \tau_\lambda - \tau_{R,\lambda} - \Delta\tau_{w,\lambda}$ для длин волн 0,35 и 0,4 мкм и слишком близкие к нулю * значения $\Delta\tau_\lambda$ при $\lambda = 0,45$ и $\lambda = 0,5$ мкм свидетельствуют о том, что либо реальные средние $\tau_{R,\lambda}$, практически свободные от влияния вариаций, расходятся с принятыми нами модельными значениями, либо данные коротковолновой части спектра отягощены действующей на $\Delta\tau_\lambda$ систематической погрешностью, такой как наличие рассеяния в монохроматоре. Возможно, конечно, и комбинация этих погрешностей.

Не разделяя этой систематической погрешности на составляющие, определим для ее компенсации поправку $\Delta\tau_{p,\lambda}$, которую условно назовем поправкой на рассеяние. Для этого примем во внимание, что к 1911 г. атмосфера практически полностью очистилась от воздействия на нее возмущающих факторов 1908 г. и не подвергалась за это время новым сколько-нибудь заметным воздействиям. Это восстановление оптических параметров атмосферы до их фонового значения легко устанавливается с помощью разностей среднесезонных спектральных данных для 1905—1906 гг. (предшествующих ТКТ) и для последующих периодов наблюдений (рис. 2). Заметим, что разности спектральных оптических плотностей для серии наблюдений имеют более высокую точность, чем в каждой из серий, так как практически не содержат систематических погрешностей. Разность спектральных оптических плотностей атмосферы $\tau_i - \tau_0$ убы-

* «Слишком близкие к нулю» означает, что если из $\Delta\tau_\lambda$ вычесть $\tau_{n,\lambda}$, обусловленную поглощением в полосах NO_2 и O_3 , то окажется отрицательным $\tau_{a,\lambda}$.

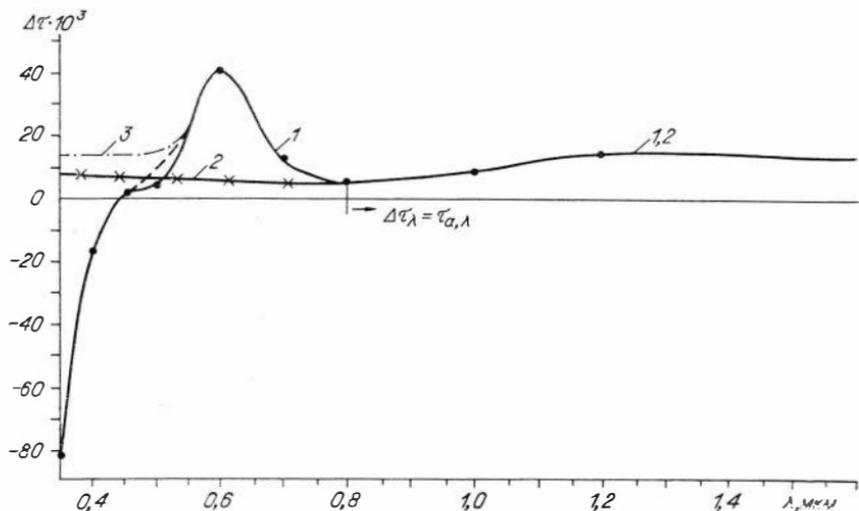


Рис. 1. Спектральный ход средней за сезон наблюдения остаточной оптической плотности ($\Delta\bar{\tau}_\lambda$)₁₉₁₁ (кривая 1), ее аэрозольная составляющая $(\tau_a)_\lambda$ (кривая 2) и исправленная до фонового значения $\Delta\bar{\tau}'_\lambda$ (кривая 3).

ваит во всем спектральном диапазоне по мере приближения к $i = 1911$, становясь даже отрицательной, и только разности для $\lambda \geq 1,3$ мкм и $\lambda \leq 0,4$ мкм составляют исключение (см. рис. 2);

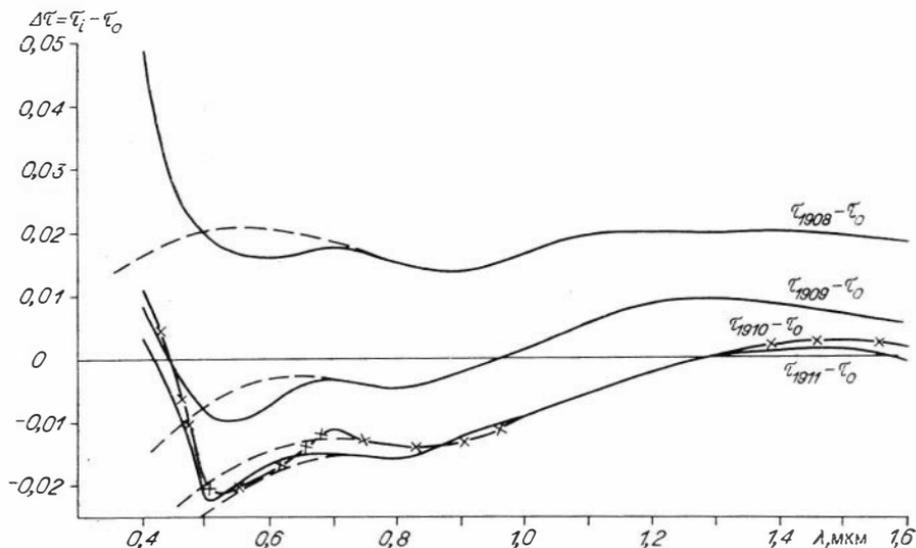


Рис. 2. Изменение во времени и по спектру разности $(\bar{\tau}_i - \bar{\tau}_0)_\lambda$ оптических плотностей, средних за сезон 1905—1906 гг. $\bar{\tau}_0 = \frac{1}{2}(\bar{\tau}_{1905} + \bar{\tau}_{1906})$ и средних за последующие сезоны $\bar{\tau}_i$, где $i = 1908, \dots, 1911$ гг.

отрицательные значения — особенность, связанная, очевидно, с данными 1905—1906 гг., и может быть пока оставлена без рассмотрения; другая особенность — резкий подъем $\Delta\tau$ при $\lambda < 0,5$ мкм — обусловлена длительным пребыванием в атмосфере значительных количеств NO_2 и дисперсными свойствами аэрозоля. Тесный ход разностей для 1910 и 1911 гг. на всем участке спектра и выход на нулевую разность в диапазоне от 1,4 до 1,6 мкм указывают на то, что атмосфера в 1910 и 1911 гг. практически очистилась от аэрозольной компоненты, внесенной крупными метеоритными телами, главным образом дотунгусским болидом.

Итак, значения оптических параметров атмосферы в 1911 г. с некоторыми оговорками могут быть приняты за фоновые. Аэрозольная составляющая в коротковолновой части спектра в 1911 г. оказалась даже существенно меньшей, чем в 1905—1906 гг., что само по себе заслуживает внимания.

Достаточно обоснованно можно принять $(\Delta\tau_p)_{0,6} = (\Delta\tau_p)_{0,7} = 0$ и определить $(\tau_a)_{0,6}$, считая, что $(\tau_n)_{0,6}$ обусловлена только озоном, так как при фоновых концентрациях NO_2 его поглощением при $\lambda = 0,6$ мкм можно пренебречь. Принимая $(\tau_a)_{0,8} = (\Delta\tau)_{0,8}$ и вычислив $(\tau_a)_{0,7}$ и $(\tau_a)_{0,6}$ из соотношения $\tau_{a,\lambda} = \tau_\lambda - (\tau_R + \tau_n + \Delta\tau_w)_\lambda$, получим значения $(\tau_a)_\lambda$ для данных 1911 г. в шести точках (при λ 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6 мкм) и проэкстраполируем $\tau_{a,\lambda}$ в коротковолновую область до $\lambda = 0,35$ мкм (см. рис. 1). Ошибка такой экстраполяции на $\lambda = 0,35$ мкм могла бы быть, вообще говоря, довольно большой, но она значительно уменьшается с привлечением дополнительной информации о спектральном ходе среднего за сезон значения $\tau_{a,\lambda}$, полученного для условий на Маунт-Вилсон. Эти детали будут обсуждены при рассмотрении модели $\tau_{a,\lambda}$. Рассчитанные по описанной выше методике значения $\Delta\tau_{w,\lambda}$ для 1911 г. ($\bar{w} = 62$ см) приведены в табл. 1. К полученным экстраполяцией значениям $\tau_{a,\lambda}$ (см. табл. 1) добавляются $\tau_{n,\lambda}$ для длин волн 0,35; 0,4; 0,45; 0,5 мкм, рассчитанные по сечениям поглощения σ_λ и фоновым значениям общего содержания двуокиси азота $(n_{\text{NO}_2})_{\text{фон}}$ и озона $(n_{\text{O}_3})_{\text{фон}}$. Так получают исправленные на рассеяние значения $\Delta\tau_\lambda$ в этих точках (см. рис. 1) и определяются поправки $(\Delta\tau_p)_\lambda$ (см. табл. 1).

Приведенные в строке 10 табл. 1 отношения поправки $(\Delta\tau_{p,\lambda})$ к величине релейской составляющей $\tau_{R,\lambda}$ образуют, как нетрудно заметить, закономерный ряд, убывающий с увеличением длины волны. Из этой закономерности выпадает только относительная поправка для $\lambda = 0,5$ мкм, которая (при соответствии этой зависимости) должна была бы составлять 3,2%, а не 8%. Такое несоответствие могло возникнуть либо из-за ошибки в определении значения $(\tau_a)_{0,5}$, либо из-за отклонения $(\Delta\tau)_{0,5}$ для 1911 г. от фонового значения. Последнее легко проверить по разности $(\Delta\bar{\tau}_0 - \Delta\bar{\tau}_{1911})_\lambda$, где $\Delta\tau_{\lambda,i} = |\tau_\lambda - (\Delta\tau_w)_\lambda|_i$ соответственно для 1905—1906 и для 1911 гг. Эти разности для части спектра приведены в табл. 1, из которой видно, что значение $(\Delta\tau)_{0,5}$ выпадает из ряда значений и меньше их на $+0,013 - (-0,008) = 0,0210$. Это обстоятельство отражено

также на рис. 2, на котором $\bar{\tau} = \bar{\tau}_{1911} - \tau_0$ (здесь $\Delta\bar{\tau}_w$ не введена) имеет отрицательные значения во всем спектральном интервале от $\lambda \sim 1,3$ до $\lambda \sim 0,45$, т. е. в указанном спектральном интервале зеркально отразился близкий к фоновому спектральный ход $(\tau_a)_0$, на практически нейтральном и близком к нулю $(\bar{\tau}_a)_{1911}$. Если принять как наиболее вероятную 3-процентную относительную погрешность при $\lambda = 0,5$ мкм и учесть, что в этой точке шкалы длин волн сигнал имеет значение, близкое к максимальному (наибольшее значение метеорологической спектральной солнечной постоянной), а рассеяние в монохроматоре вносит в него минимальный вклад, то в первом приближении можно считать ее относящейся только к $(\Delta\tau_R)_{0,5} = [(\tau_R)_{\text{мод}} - (\tau_R)_{\text{ист}}]_{0,5}$, так как $(\Delta\tau_p)_\lambda = (\Delta\tau'_p + \Delta\tau_R)_\lambda$, где $\Delta\tau'_{p,\lambda}$ — систематическая погрешность из-за неучтенного реального рассеяния в приборе. В строке 11 табл. 1 приведены значения $(\Delta\tau'_p)_\lambda$, найденные из предположения, что $\Delta\tau_R/\tau_R = 3\%$.

Легко заметить, что первые три значения $(\Delta\tau'_p)$ образуют геометрическую прогрессию со знаменателем $q = 1/4$. Тогда естественно предположить для $\lambda = 0,5$ мкм $(\Delta\tau'_p)_{0,5} = 0,001$, а $\Delta\tau_R/\tau_R = 2\%$, так как $(\Delta\tau'_p/\tau_R)_{0,5} \approx 1\%$. Следующий шаг приближения дает систематические поправки на рассеяние в монохроматоре.

Рассмотрим теперь некоторые детали, касающиеся определения аэрозольной оптической плотности атмосферы $(\tau_a)_\lambda$.

СПЕЦИФИЧЕСКАЯ ОСОБЕННОСТЬ СПЕКТРАЛЬНОГО ХОДА $(\tau_a)_\lambda$ ДЛЯ УСЛОВИЙ ВЫСОКОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ ПРИ ВЫСОКОГОРНЫХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Наши измерения спектральной прозрачности в условиях высокогорья позволили сделать вывод о том, что в дни с высокой прозрачностью и малым влагосодержанием атмосферы спектральный ход $(\tau_a)_\lambda$ имеет пологий максимум при $\lambda = (0,53-0,55)$ мкм. В работе [12] высказано предположение, что это характеризует аэрозоль стратосферного яруса, который при высокой прозрачности тропосферы не затушевывается аэрозолем нижних слоев. Это, во-первых, позволило нам для упрощения задачи разделения оптических плотностей избежать каких-либо установленных ранее приблизительных аналитических аппроксимаций для $(\tau_a)_\lambda$, а во-вторых, послужило базовой моделью $(\tau_a)_\lambda$ для разделения и критерием его правильности при высокой прозрачности атмосферы. Но при анализе данных CAO за 1908 г. выявилось, что и при значительном помутнении атмосферы (когда τ_a в несколько раз превышает его фоновое значение), если оно вызвано инъекцией метеорной пыли в стратосферу, эта особенность в спектральном ходе $(\tau_a)_\lambda$ сохраняется. Просматривается такая особенность и в среднесезонных данных, но затушевана в них влиянием дней с преобладанием τ_a тропосферного происхождения. Исключение

составляют данные за 1911 г. В них при преобладании высокой прозрачности максимум в $(\tau_a)_{0,5}$, столь заметный в данных за 1908 г., не наблюдается. Учитывая, что уже в разностях среднесезонных данных за 1909 и 1905—1906 гг. при $\lambda = 0,5$ мкм появляется отрицательное значение $(\Delta\bar{\tau}_{1909} - \Delta\bar{\tau}_0)_{0,5} = -0,003$, можно предположить, что исчезновение в этот период отмеченной особенности связано с преобладанием очищения стратосферы «вымыванием» метеорологического аэрозоля над его поступлением. Это подтверждается и прямым сравнением исходных оптических плотностей за 1908—1911 гг. в трех соседних точках шкалы длин волн 0,45; 0,5; 0,6 мкм:

λ , мкм	0,45	0,5	0,6
$\bar{\tau}_8 - \bar{\tau}_9$	0,029	0,028	0,023
$\bar{\tau}_8 - \bar{\tau}_{10}$	0,031	0,039	0,034
$\bar{\tau}_8 - \bar{\tau}_{11}$	0,034	0,041	0,033

По мере удаления от событий 1908 г. разности $\bar{\tau}_\lambda$ возрастают (атмосфера очищается) во всех длинах волн, но при $\lambda = 0,5$ мкм изменения наибольшие. Такое превалирование стока аэрозоля стратосферного яруса над его источниками после событий 1908 г. можно объяснить «вымыванием» его в глобальном масштабе значительным избытком водяного пара, заброшенного в стратосферу в 1908 г. В свете этих представлений не вызывает возражений и тот спектральный ход $(\bar{\tau}_a)_\lambda$, который представлен на рис. 1 и который мы должны были прокомментировать. Во всяком случае, это можно считать выясненным для точки 0,5 мкм. Для значений τ_a в точках с $\lambda = 0,45$ и 0,4 мкм разности остаточных оптических плотностей между средними данными за 1911 г. и 1905—1906 гг. оказываются положительными, следовательно, понижения $(\tau_a)_\lambda$ в коротковолновой области, характерного для атмосферы с высокой прозрачностью, в 1911 г. могло и не быть. Таким образом, подтверждается найденный нами для среднесезонных данных за 1911 г. спектральный ход $(\bar{\tau}_a)_\lambda$. Возрастные ошибки экстраполяции $(\tau_a)_\lambda$ в этих точках (особенно в точке с $\lambda = 0,35$ мкм, измерения в которой проводились лишь с 1909 г.) не очень сказываются на точности определения значений $\Delta\tau_p$ в этих точках, так как последняя стремительно нарастает с уменьшением длины волны.

Перейдем к анализу данных за 1908 г. с использованием рассмотренной здесь методики и начнем его с проверки ее эффективности на исследовании послегрозовых воздушных масс.

АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ С МАКСИМАЛЬНЫМИ ПОМУТНЕНИЯМИ АТМОСФЕРЫ

Во временном и спектральном распределении данных САО обращают на себя внимание кратковременные и значительные всплески τ_λ в коротковолновой части спектра, носящие, очевидно, локальный характер. Так как данные за 1908 г. изобилуют внушительными

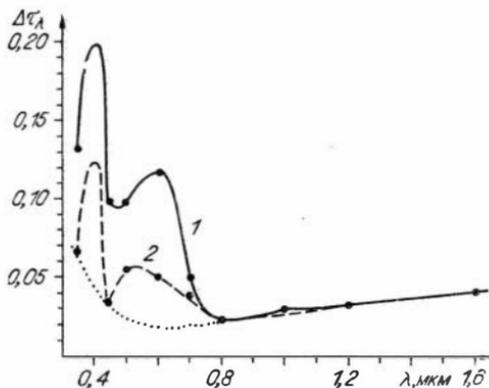


Рис. 3. Остаточная спектральная оптическая плотность (кривая 1): $\Delta\tau_\lambda = \tau_\lambda - (\tau_R + \Delta\tau_w - \Delta\tau_p)_\lambda$ для послегрозово́й воздушной массы 24 июня 1911 г. ($w=2$ см H_2O); кривая 2 — ее аэрозольная составляющая. n_{O_3} и n_{NO_2} равны соответственно 1,8 ($n_{фон}$) O_3 и 27 ($n_{фон}$) NO_2 (найдепо по разделению $\Delta\tau_\lambda$ на составляющие).

и резкими понижениями прозрачности, исследование всплесков τ_λ , повторяющихся из года в год, проводилось по данным, относящимся к 24 июня 1911 г. и 23 сентября 1910 г. Остаточные оптические плотности для одной из этих дат $\Delta\tau_\lambda = \tau_\lambda - \tau_{R,\lambda} + \Delta\tau_{p,\lambda} - \Delta\tau_{w,\lambda}$ приведены на рис. 3; там же отражены результаты разделения их на составляющие, обнаруживающие некоторые общие черты. Они сводятся в основном к малым значениям τ_a при существенно (в 27 раз) превосходящей фоновое содержание концентрации (n) NO_2 и с повышенным общим содержанием O_3 ($n_{O_3} \approx 1,8n_{фон}$). Есть все основания предполагать, что в данном случае мы имеем дело с послегрозовыми воздушными массами, из которых вымыт крупнодисперсный тропосферный аэрозоль, и вместе с увеличением концентрации NO_2 значительно возрастает остаточная оптическая плотность при $\lambda = 0,35$ и $0,4$ мкм.

Рассмотрение данных за сезон 1908 г. начнем с анализа пиковых значений τ_λ , охватывающих весь диапазон длин волн наблюдаемого спектра и разделенных по времени интервалом в 60 дней (4 июня, 4 августа, 4 октября).

Наблюдения 18 мая 1980 г. за переносом продуктов извержения вулкана Сент-Хеленс, расположенного примерно в том же широтном поясе США (46,2° с. ш.), показали, что продукты извержения, выброшенные на высоты 21—27 км, обогнули земной шар с периодом 60 сут. Рассматривая приведенные на рис. 4 кривые измеренной оптической плотности для длин волн 400; 700 и 1000 нм (построенные по данным САО), можно заметить, что для длин волн 700 и 1000 нм оптическая плотность атмосферы 4 августа и 4 октября соответствует прямой линии, соединяющей значения τ для этих дат и данные за 4 июня. Остаточная оптическая плотность на длине волны 400 нм (из полной оптической плотности вычтена релейевская составляющая) такого спада максимумов τ не имеет, но отмечен максимум ($\Delta\tau = 0,289$) 4 августа (см. рис. 4). Из изложенного выше следует, что на $\lambda = 400$ нм произошло наложение оптической плотности, связанной с облаком продуктов ТКТ, с оптической плотностью, относящейся к запыленной воздушной массе, располагавшейся на высотах 21—27 км и циркулировавшей вокруг земного шара с периодом 60 сут.

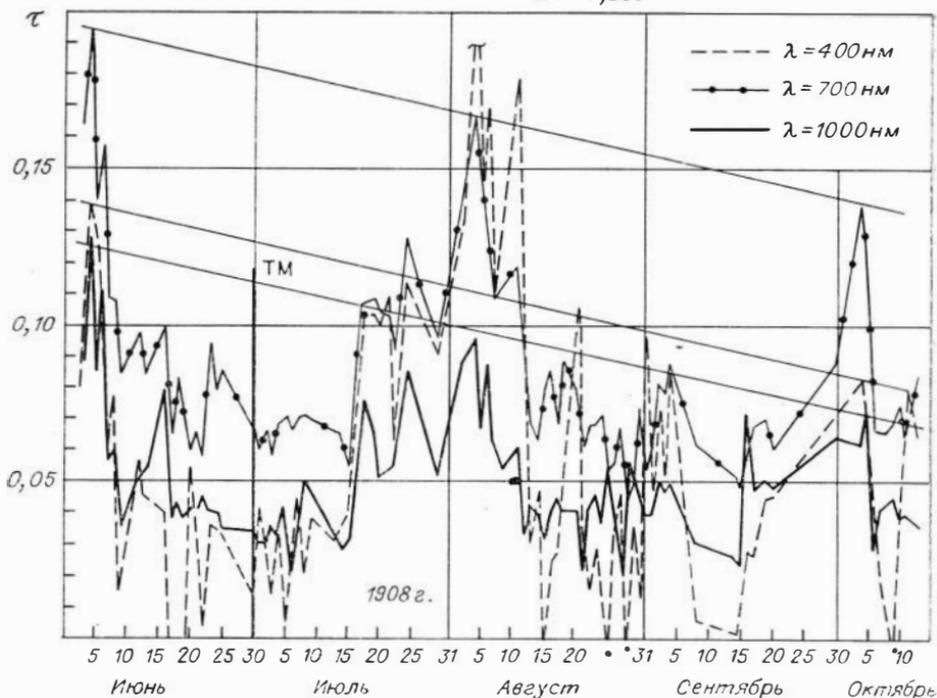


Рис. 4. Временной ход полной оптической плотности атмосферы (для $\lambda = 700$ и 1000 нм) и остаточной оптической плотности (для $\lambda = 400$ нм) над ст. Маунт-Вилсон (1740 м) для периода июнь — октябрь, 1908 г.

На рис. 5 приведены значения $\Delta\tau_\lambda = \tau_\lambda - \tau_{R,\lambda} + \Delta\tau_{p,\lambda} - \Delta\tau_{w,\lambda}$ для упомянутых выше дат, на рис. 6 — соответствующие им составляющие. Обращает на себя внимание поразительное сходство спектрального хода τ_a для кривых 1 и 2 на рис. 6 во всем спектральном диапазоне, начиная от $\lambda = 0,45$ мкм. Такое совпадение не может быть случайным и свидетельствует о принадлежности τ_a одному и тому же объекту — пылевому облаку, прошедшему над Маунт-Вилсон впервые 4 июня 1908 г. и характеризующемуся кривой 1 на рис. 5. Через 60 дней это облако вновь прошло над пунктом наблюдения и τ_a уменьшилась, но почти не трансформировалась в коротковолновой части спектра. Заметное плавное уменьшение τ_a в длинноволновой части спектра обусловлено влиянием пришедшей в Калифорнию увлажненной послекатастрофной воздушной массы. Избыточная влага в тропосфере вызвала ускоренный рост и седиментацию крупных (проникших в тропосферу) частиц. Уменьшение τ_a в период между двумя последовательными прохождением облака происходит таким образом, как если бы превалирующим был процесс диффузии (размытия). Вклад послекатастрофной воздушной массы заметен и на $\lambda 0,4$ и $0,45$ мкм. На длине волны $0,4$ мкм общая остаточная оптическая плотность 4 августа 1908 г. (см. рис. 5) $\Delta\tau_{0,4} = 0,243$;

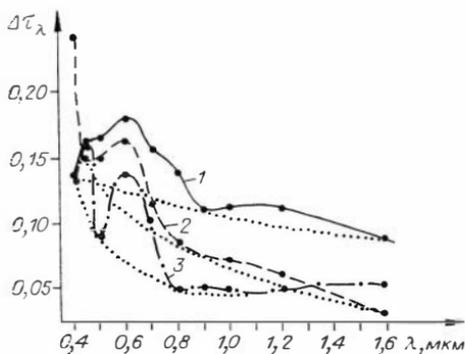


Рис. 5. Спектральный ход остаточной оптической плотности $\Delta\tau_\lambda = \tau_\lambda - \tau_{R,\lambda} - \Delta\tau_{w,\lambda} + \Delta\tau_{p,\lambda}$ для трех последовательных максимумов помутнения атмосферы, разделенных интервалами в 60 дней.

1—3 — $\Delta\tau_\lambda$ соответственно для 4 июня (1), 4 августа (2) и 4 октября (3) 1908 г.

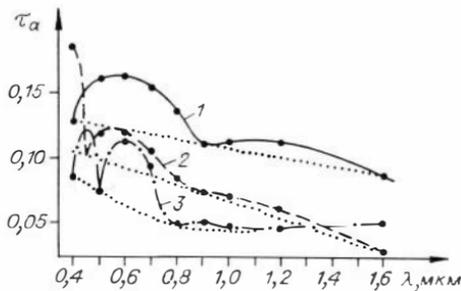


Рис. 6. Спектральная зависимость аэрозольной составляющей оптической плотности для трех последовательных, с интервалом в 60 дней, помутнений атмосферы над Маунт-Вилсон.

1—3 — $\Delta\tau_\lambda$ соответственно для 4 июня (1), 4 августа (2) и 4 октября (3) 1908 г.

она складывается из $(\tau_a)_{0,4} = 0,185$ и $\tau_{\text{NO}_2} = 0,058$, что соответствует концентрации $\text{NO}_2: n_{\text{NO}_2} = 1,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2} = 24 \cdot (n_{\text{фон}})$. Если принять во внимание, что 4 июня 1908 г. концентрация NO_2 не превышала фонового ее значения, то разница по этой компоненте в воздушных массах 4 июня и 4 августа 1908 г. получается впечатляющей. Содержание озона: 4 июня $n_{\text{O}_3} = 0,6n_{\text{фон}}$, а через 60 дней $n_{\text{O}_3} = 1,2n_{\text{фон}}$. В воздушной массе 4 октября 1908 г. $n_{\text{NO}_2} = 16n_{\text{фон}}$, а содержание озона не превышало 2/3 от его фонового значения. Аэрозольная составляющая за это время в λ (0,4; 0,7 и 1,0 мкм) убывает практически по линейному закону, что хорошо заметно и на рис. 4. При сравнении динамики составляющих по рис. 4—6 нужно принять во внимание, что приведенные на рис. 4 данные для $\lambda = 0,4$ мкм представляют собой $\Delta\tau_\lambda = \tau_\lambda - \tau_{R,\lambda}$, т. е. содержат τ_a и τ_n и не включают $\Delta\tau_{p,\lambda}$ и $\Delta\tau_{w,\lambda}$.

Сравнив три пиковых помутнения, разделенные 60-дневными интервалами, следует отметить, что разительные изменения компонент этих масс не могли быть вызваны спонтанной трансформацией пылевого облака, прошедшего над Маунт-Вилсон в начале июня. Начиная с 14—16 июля на пылевое облако накладывалась (в оптическом смысле) воздушная масса, практически не содержащая пыли. Исключение мог бы составить мелкодисперсный аэрозоль, проявляющийся при λ 0,4—0,45 мкм, но эта остаточная оптическая плотность могла быть порождена и не аэрозолю, а, например, поглощением какой-либо составляющей экзотической послекатастрофной воздушной массы, которая имеет полосы на этом участке спектра наряду с NO_2 , но не идентифицирована нами и отнесена к аэрозолю. На присутствие наложившейся воздушной массы в этот период указывает,

как мы уже отмечали, и повышенная, специфически связанная с $\Delta\tau_\lambda$ влажность атмосферы, которая в течение длительного времени влияла на аэрозоль стратосферного яруса с $\lambda_{\max} \approx 0,53$ мкм.

В пике $\Delta\tau_\lambda$, относящемся к 4 октября 1908 г., наряду с уменьшением τ_a , обусловленным размытием пылевого облака, обнаруживается и трансформация аэрозоля: происходит смещение $(\tau_a)_{\max}$ к $\lambda = 0,45$ мкм и ускоренное вымывание аэрозоля с $(\tau_a)_{\max}$ при λ 0,53 и 0,8 мкм.

Крупнодисперсный аэрозоль к этому времени стабилизировался, и $(\tau_a)_{1,6}$ стала даже несколько больше, чем в пике 4 августа. Это также указывает на перераспределение частиц по размерам и на то, что вымывание их из тропосферы уже не носит преобладающего характера и вместе с уменьшением влагосодержания свидетельствует, скорее всего, о разделении воздушных масс, накладывавшихся в июле — августе. Но последнее возможно только в том случае, если массы проходили над Маунт-Вилсон на разных высотах, следовательно, пылевое облако, трижды прошедшее над этим пунктом, находилось выше 20 км. Как мы уже упоминали, прямые наблюдения за перемещением шлейфа от вулкана Сент-Хеленс, распространявшегося в близких к Маунт-Вилсон широтах на высоте 20—27 км со скоростью около 35 км/ч, показали, что полный оборот вокруг земного шара основное облако совершает за 60 дней.

Таким образом, пылевое облако, впервые прошедшее через Маунт-Вилсон 4 июня 1908 г., образовалось и распространилось в зоне остановки высокоскоростных болидов и, с нашей точки зрения, представляет собой продукты разрушения крупного болида. По экстраполяции размывания облака во времени и скорости его распространения можно предположить, что взрыв болида произошел над Тихим океаном, северо-восточнее Курильских островов. Масса болида по порядку величины оценивается нами в 0,1 Мт.

Опираясь на полученные результаты, рассмотрим теперь проблему ТКТ в контексте твердо установленных и хорошо известных фактов.

О СОСТАВЕ, РАЗМЕРАХ И СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТКТ

Американский исследователь Р. Ганапати [25] предположил, что повышение концентрации придия в слоях керна льда из Антарктического ледника (датируемых 1909—1910 гг.) и микроскопических шариков, найденных на месте взрыва Тунгусского тела (в слое мха, относящегося к 1908 г.), указывает на один и тот же источник — метеорит с минеральным составом углистого хондрита. Полагая, что выброшенный при вторжении ТКТ материал рассеялся равномерно по поверхности Земли, Р. Ганапати оценил массу Тунгусского тела в 7 млн т. Однако, как известно из результатов исследований, проведенных в рамках Комплексной самодеятельной экспедиции (КСЭ), суммарная масса выпавшего в районе лесоповала твердого космического материала в виде шариков, которая может быть обусловлена Тунгусским метеоритом, не превышает 2 т. Площадь вывала

леса оценена в 20 000 км²; она имеет форму овала, вытянутого вдоль траектории падения метеорита. Предполагалось, что этот овал «засеян» шариками гуще, чем окружающая территория и тем более площадь всего земного шара ($\sim 5 \cdot 10^8$ км²).

Но дальнейшие исследования выпадений, проведенные на более обширной территории, показали, что пятно лесоповала «засеяно» материалом в виде микросферул значительно беднее. Оказалось, что более высокие их концентрации находятся на расстояниях 200—400 км от эпицентра взрыва в виде очень вытянутого в северо-западном направлении овала, т. е. по траектории Кринова [9]. Эти результаты свидетельствуют в пользу кометной версии ТКТ и указывают на некорректность оценок Р. Ганапати.

Предположение Р. Ганапати о равномерности выпадения сферул по поверхности Земли вряд ли может быть принято не только ввиду крайне неравномерного распределения сферул даже в районе падения, но и из-за особенностей движения воздуха над Антарктидой, где постоянное опускание воздуха создает возможность вымораживания и осадения на ледник не только влаги, но и аэрозоля. Таким образом, Антарктику можно представить как насос с фильтром, на котором осаждаются атмосферные примеси. Эти обстоятельства позволяют предполагать сильную завышенность оценки массы минеральных составляющих космического тела, вторгшегося в атмосферу в 1908 г.

По нашему мнению, найденная в Антарктиде приливная аномалия относится не к Тунгусскому телу, а к метеороиду, вошедшему в атмосферу в апреле — мае 1908 г.

Исследователи аномалий химического состава слоя почвы и торфа, относящегося к 1908 г., указывают на избыток соединений «летучих» элементов: натрия, калия, кальция и др. [3]. По данным спектральных исследований свечения комет вблизи Солнца, П. Миллап [26] установил такую же последовательность содержания легких элементов. С. П. Голенецкий и В. В. Степанок [3] предположили, что минеральная часть Тунгусского тела могла составлять не более 0,1% его массы.

Обратимся вновь к свидетельствам очевидцев падения ТКТ для выяснения масштаба и особенностей взрыва кометного тела при его торможении и «остановке» в верхней тропосфере [17]. Свидетели, находившиеся на расстоянии около 85 км от места падения, рассказывали, что в момент падения ТКТ «небо раскололось», «небо раскрылось», т. е. указывали на достаточно большую высоту огненного столба. Не вызывает сомнения, что свидетели видели не выброс горячих газов от взрыва, а сам взрыв (тело взрыва), поскольку световое излучение, ощущавшееся людьми как обжигающее (около $1,5 \cdot 10^4$ Вт/м²), должно исходить из протяженного источника, значительная часть которого располагается не вблизи земной поверхности, а в слое атмосферы, обладающем слабым поглощением (нижняя стратосфера на высотах 12—30 км).

Каковы же размеры тела взрыва? Очевидно, что при проникновении ТКТ в атмосферу происходило непрерывное увеличение скорости

абляции, т. е. скорости сброса материи наружной оболочки кометного тела, что, естественно, вело к росту размеров газовой оболочки и следа ТКТ.

Важные обобщения свидетельств очевидцев из района верхнего течения р. Лены сделаны в работе [8]. По их описаниям, траектория имела азимут 95° и пересекала Лену вблизи с. Мироново; таким образом, прослеживался полет ТКТ на пути около 450 км. Из показаний очевидцев следует, что очертания тела (вместе с газовым шлейфом) непрерывно изменялись при его движении по траектории. Сначала ТКТ выглядело как шарообразное тело («красный ком»), затем образовался «сноп» с искрами в хвосте. К концу полета, перед тем как скрыться за хребтом на левобережье Лены, силуэт космического тела растянулся в сплошную полосу, превратился в «бревно». Таким образом вырисовывается картина постепенного разрушения ТКТ в атмосфере.

Если оценить (на основе показаний очевидцев) видимый диаметр объекта, то полученный результат свидетельствует не только об огромных размерах газовой оболочки, но и о ее быстром росте при входе в нижнюю стратосферу. Здесь можно обратиться к результатам расчетов параметров движения крупных болидов в атмосфере Земли, сделанных З. Секаниной [31]. Пути болидов в атмосфере, полученные с помощью расчетных методов и наблюдений (фотографирование на сети болидных станций), представлены на рис. 7. Как видим, скорость движения низкоскоростных тел в верхней и средней стратосфере практически неизменна, что объясняется в первую очередь малой плотностью воздуха на этих уровнях. Заметное торможение тел начинается с высот 30—40 км.

Высотно-скоростные зависимости, приведенные на рис. 7, относятся к болидам, известным своим относительно длительным движением в атмосфере (за счет больших масс) и исключительно интенсивными конечными вспышками. Для ТКТ З. Секанина указывает только две конечные точки, около 14 и 31 км/с, полученные исходя из доатмосферных скоростей. Высотно-скоростная зависимость (протяженная кривая) для ТКТ (см. рис. 7) построена Г. А. Никольским на основе имеющихся в литературе сведений и оценок.

Согласно [31], вспышки возникают в тот момент, когда встречное давление и соответствующие внутренние напряжения превышают критический предел, индивидуальный для каждого болида. Происходит очень быстрое разрушение тела, которое распадается на несколько фрагментов (чаще всего на пять). В работе Т. Я. Гораздовского [4] на основе лабораторного эксперимента показано, что при возникновении деформационного сдвига (при касательных напряжениях в теле каменного образца порядка $1 \cdot 10^{11}$ дин/см²) происходит взрыв с диспергированием и выбрасыванием из зоны разрыва с большой скоростью 5—20% объема вещества твердого тела. Размеры частиц 10—100 мкм. Деформационно-реологический взрыв сопровождается эмиссией излучения в видимом, ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах длин волн, а также интенсивной электризацией поверхностей разделяющихся фрагментов с возникновением потен-

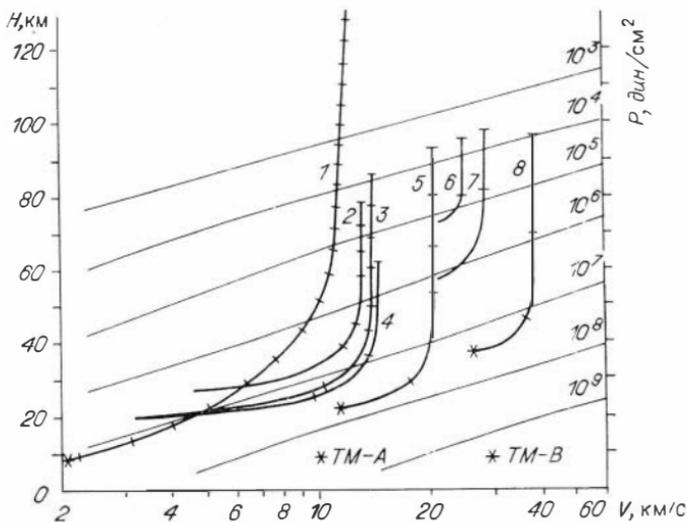


Рис. 7. Изменение скорости наиболее ярких болидов при их вторжении в атмосферу [31].

Поперечные штрихи на траекториях — секундные отрезки пути. 1—8 — траектории: 1 — Тунгусского метеорита, 2 — II № 40617(I) — болид, сфотографированный на Прерийной сети станций (США); E — ε№ 160166(II) — болид, зарегистрированный на Европейской сети; № 160166 — порядковый номер болида по каталогу; II — тип болида в соответствии с плотностью вещества; 7 — тип болида и принадлежность к метеорному потоку Таурид; 4 — Иннисфри, 3 — Лост Сити — индивидуальные имена болидов, окончивших свое существование метеоритным выпадением.

Звездочки — точки конечных болидных вспышек с полным разрушением тела; TM—A — точка взрыва для варианта низкой входной скорости и принадлежности тела к семейству астероидов Аполлон; TM—B — для случая, если TM был бы фрагментом кометы Энке. Траектория для Тунгусского метеорита построена по нашим оценкам его параметров.

циалов в сотни тысяч вольт и последующими разрядами в виде молний.

Из рис. 7 видно, что, за исключением точек конечных остановок Тунгусского метеорита, представленных З. Секаниной, все высотноскоростные траектории заканчиваются на высотах 20 км и более при аэродинамических давлениях (P), не превышающих $7 \cdot 10^7$ дин/см². Яркие конечные вспышки, происшедшие при наибольших значениях P ($7,7 \cdot 10^7$ и $7,4 \cdot 10^7$ дин/см²), связаны с болидами типа II ($\rho \approx 2,1$ г/см³), относящимися к углистым хондритам — каменным метеоритным телам, которые содержат значительное количество органических соединений и взрываются в большинстве случаев с дезинтеграцией значительной части тела на мелкодисперсный материал. Болиды типов IIIa и IIIб, с плотностью 0,6 г/см³ и 0,2 г/см³, относятся к кометарным телам, имеющим, очевидно, разное происхождение, состав и строение. Болиды этих типов разрушались при внутренних напряжениях 10^5 — 10^6 дин/см².

Сопоставление результатов лабораторного эксперимента с результатами расчетов по фотосвидетельствам вторжения в атмосферу показывает, что лабораторные испытания дают завышенные значения критических напряжений: для каменных тел на 3 порядка, для ле-

дяных — на 1,5—2. У ледяных кометных тел механизм вспышки в конце пути, по-видимому, иной, чем у болидов типа II (углистых хондритов): он представляет собой химический взрыв смеси углеводородов с воздухом. Вода, образующаяся при взрыве сравнительно крупных болидов, поступает в стратосферу в слоях 60—50 и 35—20 км. Поступление воды в тропосферу происходит при нисходящем движении стратосферного воздуха над Антарктидой, Гренландией и, возможно, Шпицбергенем. Вполне вероятно, что эти районы играют роль стоковых русел космической воды на поверхность Земли. Значительное количество воды выбрасывается (в процессе абляции) при пролете малых фрагментов кометных тел через нижнюю термосферу и мезосферу, и только крупные фрагменты кометных тел достигают стратосферных высот и сбрасывают там воду, углеводороды и другие компоненты.

Наиболее глубоко точка «остановки» располагается в случае ТКТ, что еще раз говорит об огромной потере массы при его движении и о сравнительно невысокой скорости входа в атмосферу ($v_0 < 14$ км/с или, скорее всего, v_0 близка к минимальной — 11,2 км/с). Одна из конечных точек расчетного пути ТКТ [31] относится к случаю большой скорости входа в атмосферу Земли ($v_0 > 30$ км/с). Такой должна быть скорость ТКТ, если оно является фрагментом кометы Энке, имеющей орбиту с наклоном около 12° . Эта комета обладает некоторыми особенностями. Так, З. Секанина приводит свидетельство того, что комета Энке выбрасывает много пылевой материи, главным образом миллиметрового и сантиметрового размеров. Эта особенность находится в резком противоречии с данными о ТКТ.

По мнению А. В. Вознесенского [2], основанному на показаниях очевидцев, на высотах около 20 км Тунгусское тело начало разделяться на две части. В точке «остановки» произошло быстрое и множественное разделение ядра ТКТ, породившее мощные электрические разряды между фрагментами тела.

В связи с тем, что углеводородные компоненты ледяного ядра (CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , C_3H_8 , H_2 и др.) к моменту «остановки» в значительной степени перешли в газообразное состояние, распались и перемешались с воздухом, образовалась детонирующая смесь, которая занимала в этот момент цилиндрический объем около 350 км^3 . Упомянутые выше мощные электрические разряды инициировали взрыв всего газового следа, размеры которого удалось оценить также по показаниям очевидцев (диаметр головы тела взрыва $d \geq 5$ км, длина 25—30 км). Безусловно, взрыв подобного столба газовой смеси протекал не мгновенно, а в течение нескольких секунд. Путем более тщательных расчетов можно оценить ряд важных геометрических параметров тела взрыва по лучевому воздействию на людей, на растительность и т. п. с учетом изменения оптической плотности на пути от участков тела взрыва до объектов на земле. Сопоставляя результаты расчетов с реальными явлениями, можно затем попытаться уточнить и геометрию взрыва. По нашим оценкам, длина тела взрыва была 25—30 км. Проекция тела взрыва составляет, как известно из литературы, около 20—22 км в длину и около 15 км в поперечнике.

Путь, на котором прослеживалось ТКТ, достигает 450 км при угле наклона средней части траектории около 25° (это близко к найденному И. Т. Зоткиным [6]). Последнее означает, что ТКТ было видно на высотах порядка 250 км. Напомним, что в начале пути очевидцы видели ТКТ как круглое тело размером с половину Луны и без какого-либо заметного хвоста. Следовательно, размер ТКТ (с комой) составляет около 1 км. Согласно [7], такое тело должно быть видно уже на высотах более 500 км. Время полета ТКТ через среднюю атмосферу (120—10 км) при скорости 11,2 км/с составило около 25 с.

Эти данные существенно расходятся с результатами расчетов З. Секанины. По-видимому, он не имел полного объема данных по свидетельствам очевидцев и в связи с этим остановился на ошибочных исходных характеристиках ТКТ. Например, З. Секанина считал, что ТКТ не претерпело никакой фрагментации вплоть до конечного взрыва, при котором материал Тунгусского тела целиком превратился в мелкодисперсную пыль. В действительности же имеется много свидетельств о взрывах при полете ТКТ по траектории и о последовавших трех-четырёх вторичных взрывах после основного, центрального взрыва.

Несмотря на обилие использованных фактических данных и многочисленные результаты модельных расчетов, З. Секанина все же не смог восстановить параметры тела и его орбиты. Мало внимания было уделено динамическому варианту происхождения орбиты Тунгусского тела, хотя ясно, что исключительность ТКТ побуждает обратиться именно к нетривиальным вариантам его происхождения.

О МАССЕ ТУНГУССКОГО ТЕЛА

В работах В. Г. Фесенкова [16, 22, 23] и Р. Турко с соавторами [33] приведены оценки начальной кинетической энергии (E_0) ТКТ. Значения E_0 , найденные в этих работах, находятся в пределах $(1-4) \cdot 10^{25}$ эрг. Остановимся на значении $E_0 = (1-4) \cdot 10^{18}$ Дж, так как в последующих разделах мы будем использовать материалы работы Р. Турко и соавторов, которую можно считать одной из наиболее представительных по проблеме воздействия ТКТ на атмосферу.

Выше мы попытались обосновать невысокую скорость входа (v_0) ТКТ в атмосферу Земли. При этом не исключалось, что его орбита имела динамическое происхождение (взаимодействие нескольких тел), обеспечивающее в некоторых случаях условия для снижения обычных кометных скоростей примерно до 11 км/с или менее.

Анализируя результаты измерений параметров наиболее крупных болидов на Прерийной сети (США) [10], сети наблюдений в ФРГ и Чехословакии [20], удалось обнаружить связь между скоростью вхождения метеоритных тел в атмосферу и их массой. Характер связи отображается параболической кривой (рис. 8). Данные о крупных болидах малочисленны, поэтому количество точек на графике сильно ограничено. Данные, взятые из работы [10] (показаны сплошными

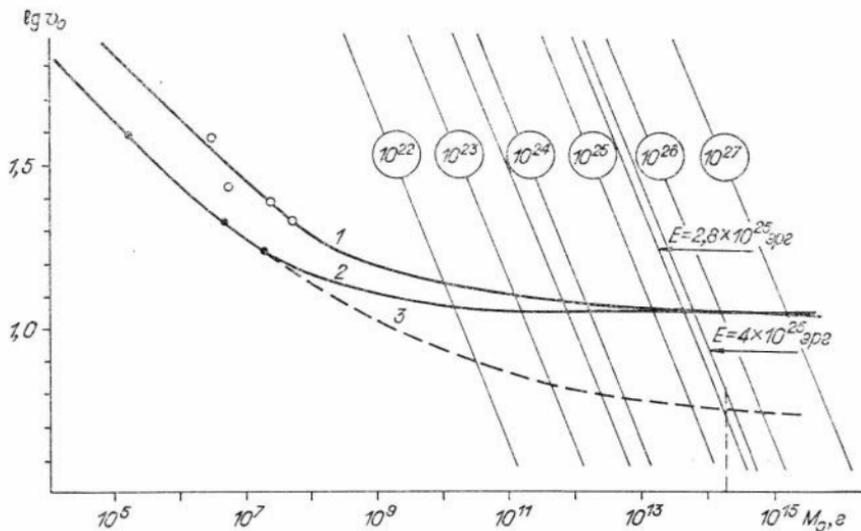


Рис. 8. Зависимость между входной скоростью и заатмосферной массой болидов по данным Прерийной (США) и Европейской сетей станций наблюдения за болидами.

Кривая 1 построена по данным [20], кривая 2 — по данным [10]. Штриховое продолжение кривой 3 отвечает точной аналитической кривой, проходящей через экспериментальные точки.

кружками), идеально укладываются на начинающуюся сплошной и продолжающуюся штриховой линией кривую 3, которая в интересующем нас диапазоне энергий $(2,5-4) \cdot 10^{25}$ эрг указывает на малые (6—8 км/с) скорости входа тел в атмосферу и их огромные массы (порядка 150 Мт). Хотя данные из работы [20] (кружки) имеют систематическое смещение по оси скоростей вверх, ход кривой 2 свидетельствует о наличии у крупных метеорных тел сходной зависимости между массой и скоростью. Из-за отсутствия в модельных расчетах возможных вариантов динамической орбиты ТКТ обе зависимости пришлось привязать в диапазоне больших масс к $v_0 = 11,2$ км/с, несмотря на то что при этом происходило очевидное изменение параметров зависимости, найденных в начальной (левой) части.

В результате такой многопорядковой экстраполяции слабая обоснованность полученной зависимости $v_0 = f(M)$ и возможная ее неоднозначность не позволяют определить значение M_0 с точностью лучшей, чем оценка ее нижней границы. Таким образом, $M_0 \geq 70$ Мт.

Другая, независимая возможность оценки начальной массы ТКТ вытекает из проведенного нами анализа данных САО о спектральной прозрачности атмосферы с 1905 по 1911 г. Исходя из установленной нами максимальной концентрации NO_2 над Маунт-Вилсон 4 августа 1908 г. в $1,2 \cdot 10^{17}$ см⁻², расчетов по фотохимическим моделям и прямым измерений в стратосфере, показавших, что в дневных условиях $n_{\text{NO}}/n_{\text{NO}_2} = (2-5) \approx 3,5$, найдем, что содержание NO_x

составляло примерно $4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$. Затем следует принять во внимание, что за 15 дней удаление NO через реакции с NO_x могло уменьшить исходную концентрацию примерно на два порядка. Определив эти потери, получим, что содержание NO, сохранившейся после диффузии продуктов ТКТ из начального облака (без фотохимического удаления) составило $4 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-2}$. В работе [29] оценивалась величина выброса NO_x при падении и взрыве ТКТ. Расчеты С. Парка опирались главным образом на значения начальной скорости и плотности ТКТ, выбранные в соответствии с кометной гипотезой его происхождения. С. Парк не сделал для ТКТ исключения при выборе направления движения по орбите и не нашел нужным обратить внимание на ряд особенностей вторжения его в атмосферу, указывающих на невысокую скорость входа, характерную для объектов, догоняемых Землей на пути вокруг Солнца. Исследователь выполнил расчеты с $v_0 = 40 \text{ км/с}$ и эффективной плотностью $\rho = 0,002 \text{ г/см}^3$.

При начальных условиях, выбранных в данной работе ($v_0 = 11,2 \text{ км/с}$, $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$), образование NO должно быть снижено по крайней мере в 12 раз. Следует отметить, что С. Парк предполагал, что выход NO — $6 \cdot 10^{35}$ молекул может быть завышенным на целый порядок. Таким образом, при оценке будет использоваться величина выхода NO — $0,5 \cdot 10^{35}$ молекул.

Следующая коррекция количества NO необходима в связи с тем, что в облако, двигавшееся в Калифорнию, попала только та ее часть, которая образовалась при движении ТКТ на высотах ниже 20 км и частично при самом взрыве (без NO, выброшенного взрывом в среднюю стратосферу). Примем, что общее количество NO составило 20%. Тогда к расчетам коэффициента диффузии продуктов ТКТ из облака, двигавшегося к Маунт-Вилсон в течение 15 дней, приступим исходя из начального количества NO $\sim 10^{34}$ молекул и конечного — $4 \cdot 10^{19}$ молекул. Поделив первую величину на вторую, найдем коэффициент диффузии: $2,5 \cdot 10^{14}$. Применив его к скачку содержания водяного пара над Маунт-Вилсон в момент прихода ТКТ воздушной массы, составившему $\sim 0,5 \text{ г}$ осажденной воды, получим массу воды, сброшенную ТКТ ниже уровня 20 км: $M = 1,2 \cdot 10^{14} \text{ г}$.

Для оценки начальной массы ТКТ следует учесть потерю его массы (абляцию) на наклонном пути (оцениваемом примерно в 400 км) от уровня, где начался сброс (около 160 км), до высоты 20 км. Из данных, приведенных в работе [1], следует, что из-за абляции метеорное тело может потерять на этой траектории до 3/5 начальной массы, содержащей в качестве основных компонент (2:1) водный лед и замороженные CH_4 и NH_3 .

Таким образом, начальная масса ТКТ составляет около $2 \cdot 10^{14} \text{ г}$. Эта оценка M_0 весьма приближительна, но тем не менее она выводит нас на значение M_0 , близкое к полученному по зависимости $\lg v_0 = f(M_0)$ (штриховая кривая на рис. 8), соответствующее $v_0 \approx 7 \text{ км/с}$ при $E_0 = 4 \cdot 10^{18} \text{ Дж}$.

Так как в данной работе принята гипотеза химического взрыва ТКТ, происшедшего из-за электрического разряда во взрывчатой

газовоздушной смеси, образовавшейся при испарении газоконденсатной оболочки тела ТКТ, следует уточнить характерные параметры тела взрыва. В качестве основного рабочего компонента газовоздушной смеси принят метан, хотя нельзя исключить и того, что при выбросе испаряющихся углеводородов через зону абляции мог происходить их распад с последующим образованием водородно-воздушной смеси — гремучего газа.

Если все же остановиться на метане и общепринятой оценке энергии взрыва — $5 \cdot 10^{16}$ Дж, то можно легко определить массу метана в газовоздушной смеси, составляющей тело взрыва. Поскольку в реакции $\text{CH}_4 + \text{O}_2$ выделяется $\sim 8,9 \cdot 10^5$ Дж/моль, то для выделения $5 \cdot 10^{16}$ Дж потребуется $\sim 0,9$ Мт CH_4 и около 9 Мт O_2 , содержащегося в ~ 350 км³ воздуха при среднем давлении 10^4 Па.

Нет сомнения, что во взрыве участвовал не весь метан, испарившийся в нижней стратосфере из газоконденсатно-ледяной оболочки ТКТ. Вполне возможно, что взорвалась только 1/10 массы метана, находившегося в газовом хвосте ТКТ в нижней стратосфере.

По нашим оценкам, значения начальной массы ТКТ $70 \leq M_0 \leq \leq 250$ Мт. Тогда диаметр тела ТКТ* до входа в атмосферу был в пре-

Т а б л и ц а 2

Сводка данных о параметрах Тунгусского тела

Параметры ТКТ	Предельные общепринятые оценки	Р. Турко [32, 33]	З. Секанна [31]	Оценки авторов	Примечания
Начальная энергия E_0 , $n \cdot 10^{25}$ эрг	0,02—4	4	—	$4 \cdot 10^{18}$ Дж	1 Мт т. э. $\approx \approx 4 \cdot 10^{22}$ эрг
Начальная масса M_0 , $n \cdot 10^{12}$ г	0,4—4,9	5	5	$70 \leq M_0 \leq 250$	
Начальная скорость v_0 , км/с	20—47	40	30	7—11	Объем тела взрыва 350—450 км ³ $\sim 12,5$ Мт т. э.
Энергия взрыва E_B , $n \cdot 10^{23}$ эрг	0,1—5	5	5(8,5 км)	$5 \cdot 10^6$ Дж	
Угол наклона траектории α , °высоты	11—40	30	5	25	
Азимут траектории φ , ° от N	100—120	115	110	95—115	
Масса выпавших фрагментов M , т	$4 \cdot 10^6$ (пыль)	—	—	10^5	Ледяной конгломерат
Плотность (эф.) ТКТ $\rho_{эф}$, г/см ³	0,001—1	0,002	—	10^3 кг·м ⁻³	
ядра ρ_n , г/см ³	—	—	—	$2,5 \cdot 10^3$ кг/м ⁻³	
Размеры фрагмента из конгломерата d , м	—	—	—	10—30	

П р и м е ч а н и е. Тире — нет данных.

* При принятом значении эффективной плотности тела ТКТ $\rho \approx 1$ г/см³.

делах $500 \leq D_0 \leq 800$ м. Оценка массы остатка Тунгусской кометы, выпавшего в виде 3—4 фрагментов в окрестностях Южного бо-лота, дала $\sim 10^5$ т ($\rho \approx 1,0$ г/см³) при начальном диаметре ~ 30 м. Сводка параметров ТКТ по разным авторам приведена в табл. 2.

ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ

Если объяснять природу Тунгусского феномена вторжением ледяного тела диаметром более 0,5 км с массой свыше 70 млн т, сбро-сившего при пролете через атмосферу около половины массы [1], которая представляла собой конгломерат водно-метано-аммиачного льда с минеральными фрагментами, то можно объединить все аспек-ты грандиозного явления в стройное «дерево» причинно-следственных событий необычного масштаба.

Как представляется авторам, Тунгусская комета является не совокупностью рыхлых комочков из снежинок и пыли, а скорее глыбой льда (т. е. ТКТ — ядро кометы) со сравнительно малым включением минеральных веществ, составляющих, по-видимому, до-ли процента от общей массы.

Как следует из анализа оптических явлений на станции Маунт-Вилсон, вклад пылевой компоненты в оптическую плотность облака продуктов ТКТ пренебрежимо мал по сравнению с вкладом газовых компонент и, конечно, водяного пара.

В ближней ИК-области (от 0,7 до 1,6 мкм) вообще не просма-тривается вклад ТКТ-аэрозоля или каких-нибудь связанных с ним характерных особенностей в спектральном ослаблении радиации.

Высокая световая насыщенность зоревых явлений в ночь с 30 июня на 1 июля 1908 г. и их ослабление в последующие ночи [5, 13, 34] свидетельствуют о мощном, но кратковременном засорении верхней атмосферы веществом газоконденсатно-ледяной оболочки Тунгусского тела. Как уже упоминалось ранее, наиболее вероятно появление в мезосфере и стратосфере больших количеств водяного пара, оксидов азота, мельчайших кусочков кометного льда, углево-дородных и аммониевых соединений.

Избыток в холодной летней мезосфере водяного пара способство-вал образованию аномально больших количеств серебристых облаков, возникавших по мере продвижения на запад воздушной массы, насыщенной водяным паром, оксидами азота и др. Действительно, в этот период на высотах 55—75 км (в широтном поясе 55—65° с. ш.) располагается высокоскоростное воздушное течение, в котором воздушные массы перемещаются с востока на запад. Следует также напомнить о том, что Тунгусская комета могла иметь небольшой газопылевой хвост, вторгшийся утром 30 июня в верхнюю атмосферу над зоной умеренных широт Евразии (к западу от места падения ТКТ). Хвост ТКТ состоял из тех же веществ, о которых упомина-лось выше, за исключением оксидов азота, образовавшихся при про-лете ТКТ через атмосферу.

Необычная цветовая гамма сумеречного сегмента могла быть связана с селективностью оптических характеристик веществ, попавших в мезосферу или вскоре образовавшихся там из начальных ТКТ-продуктов. Небольшая продолжительность зоревых световых аномалий (три ночи) легко объясняется быстрым фотодиссоциативным распадом молекул водяного пара в верхней атмосфере и расходом в фотохимических реакциях между семействами NO_x , NO_x и O_x с образованием твердых нитратных и аммониевых соединений. Особое внимание следует уделить аномальным сумеречным явлениям, имевшим место на южной границе области их распространения, захватывающей Ташкент, Ставрополь и Севастополь. В Ташкенте подсветка неба в ночь с 30 июня на 1 июля была настолько сильной, что на ее фоне были видны только самые яркие звезды. Объяснение этого явления аналогичным образом (как для северных районов области распространения) не может быть принято в связи с тем, что в полночь солнечные лучи проходят над Ташкентом на высоте ~ 700 км. Следовательно, аномально высокое свечение ночного неба (10^{-4} яркости дневного неба) в этих районах не может быть приписано рассеянию солнечного света на аэрозольных частицах, а должно быть, по-видимому, связано со свечением возбужденных молекул вблизи границ облака продуктов ТКТ [33].

При движении облака продуктов ТКТ, насыщенного NO , вблизи его нижней и верхней границ (приблизительно 20 и 40 км) молекулы оксидов азота вступали в реакцию с озоном из окружающей стратосферной воздушной массы. Примерно одна из сорока образующихся молекул NO_2 находится в возбужденном состоянии. Можно допустить, что одна из пяти возбужденных молекул высвечивается (люминесцирует) в видимой области спектра. Данные работы Р. Турко и соавторов [33] показывают, что при предполагаемых количествах произведенного при вторжении NO люминесцентное свечение может быть замечено на площади 1500×500 км. Возможно, что облако, вытянутое с юго-востока на северо-запад, двигалось на запад и имело протяженность до 1500 км и ширину не менее 500 км, что обеспечивало свечение неба от Средней Азии до Центральной Европы, по крайней мере в течение ночи.

Массовое появление серебристых облаков в это время, очевидно, связано с выбросом в мезосферу и верхнюю стратосферу больших количеств водяного пара, источником которого была ледяная оболочка тела ТКТ.

СОДЕРЖАНИЕ ОЗОНА С 1905 ПО 1911 г.

Как упоминалось выше, при вторжении ТКТ в атмосферу и непосредственно при взрыве образовалось $\sim 10^{35}$ молекул NO_x . В основном это был оксид азота NO , который, находясь в нижней стратосфере, вступал в реакцию с озоном, образуя NO_2 . В результате фотохимических реакций с O_x примерно половина молекул NO должна преобразовываться в молекулы диоксида азота, которые

являются оптически активными компонентами в ультрафиолетовой и видимой областях спектра с максимумом поглощения вблизи 400 нм. Используя спектральные данные САО, мы определили содержание NO_2 и O_3 над Маунт-Вилсон 4 августа 1908 г. Оказалось, что в вертикальном столбе сечением в 1 см^2 содержится около $1,2 \cdot 10^{17}$ молекул NO_2 и $8 \cdot 10^{18}$ молекул O_3 [12]. Эти значения содержания NO_2 и O_3 находятся в явном противоречии с выводами и результатами фотохимического моделирования вторжения ТКТ в атмосферу, выполненного в работе [32]. Оказывается, что значительная инжекция NO может привести к росту O_3 , если в стратосфере имеется достаточное количество радикалов NO_x . Возможно, что недостатки моделирования связаны именно с пренебрежением реакциями с группой NO_x .

Согласно оценкам, сделанным в работах [4, 33], образование NO при вторжении Тунгусского тела составляло 23—19 млн т. В связи с предложенными новыми значениями входной скорости ($(7—11) \cdot 10^3 \text{ м/с}$), начальной массы ($70 \leq M \leq 250 \text{ Мт}$) и более высокой эффективной плотности ТКТ ($\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$) оценка образования NO неизбежно должна снизиться примерно на 10 Мт. Количество молекул NO в этом случае составит $0,5 \cdot 10^{35}$. Как следует из результатов традиционного фотохимического моделирования, половина молекул NO должна преобразоваться в молекулы диоксида азота через реакцию разрушения озона. Каталитический характер участия NO в этих реакциях должен привести к заметной убыли озона. Такое направление фотохимических процессов предлагается в работах Р. Турко и соавторов, С. Парка [29, 33 и др.], где оценивается воздействие Тунгусского вторжения на стратосферный озон.

В работе [32] на основе модельного исследования фотохимических процессов при вторжении ТКТ получено, что в течение первого года после падения ТКТ в стратосфере Северного полушария возможно снижение содержания озона на 35—45%. Это снижение O_3 — следствие разовой инжекции в стратосферу $6 \cdot 10^{35}$ молекул NO . В качестве сравнения по масштабу инжекции NO приводится годовое производство NO_x полярными сияниями, составляющее $2 \cdot 10^{35}$ молекул при фоновом содержании NO_x в стратосфере около 10^{35} молекул.

Учитывая приведенное выше соображение о завышенности производства NO при вторжении ТКТ и принимая во внимание обычную недооценку эффективности производства NO_x при высотных ядерных взрывах, мы приходим к заключению о сравнимости масштабов вторжения ТКТ (около 10^{35} молекул NO), полярных сияний ($2 \cdot 10^{35}$ мол/год), ядерных взрывов ($1,5 \cdot 10^{35}$ молекул NO). Данные наблюдений (например, А. Кристи [21]) свидетельствуют о том, что в период после испытаний ядерного оружия содержание озона в стратосфере Северного полушария возросло на 8%.

Возвращаясь к событиям 1908 г., следует обратить внимание на наблюдения за спектральной прозрачностью в полосе Шаппюи (600 нм) на станции Маунт-Вилсон. В работе Р. Турко и соавторов [33] утверждается, что исходя из изменений оптической плотности

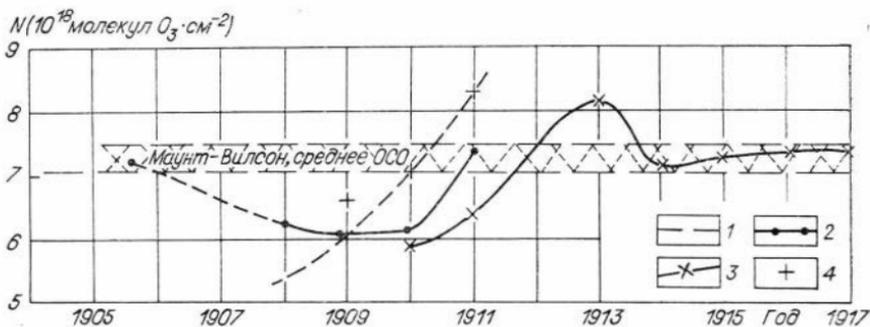


Рис. 9. Возможные изменения среднесезонного (май — октябрь) содержания озона над ст. Маунт-Вилсон в период с 1905 по 1917 г.

1 — модельный расчет, выполненный в работе Турко и др. [32]; 2—4 — расчеты по данным САО, выполненные в Ленинградском университете (2), в работах Анжюне и др. [19] (3), Турко и др. [33] (4).

на $\lambda = 600$ нм за три последующих за падением ТКТ года общее содержание озона (ОСО) увеличилось на $30 \pm 15\%$. Прямых определений ОСО по данным Маунт-Вилсон за 1908 г. в [33] сделано не было из-за сильных флуктуаций спектральной прозрачности «неизвестного» происхождения, а была осуществлена модельная экстраполяция средних за сезон данных наблюдений за 1909—1911 гг. к моменту вторжения ТКТ. Значение ОСО, снятое с экстраполяционной кривой, сопоставили с величиной, найденной для 1911 г. Из отношения этих величин и было оценено изменение ОСО, приписанное воздействию ТКТ (рис. 9).

Как показал наш анализ, использование данных наблюдений 1908 г. для определения ОСО не только возможно, но и предпочтительно по точности при тщательном учете содержания NO_2 , поскольку полоса поглощения диоксида азота охватывает область спектра от 350 до 650 нм и, таким образом, целиком накрывает полосу поглощения озона. Принимая во внимание полученные выше значения содержания NO_2 для периода прихода ТКТ-облака к Маунт-Вилсон, мы определили ОСО и учли возможные ошибки при пренебрежении вкладом NO_2 в оптическую плотность на длинах волн 500 и 600 нм. Оказалось, что ОСО в дни, когда воздушная масса, содержащая продукты выброса газовых и аэрозольной компонент Тунгусским метеороидом, проходила над Маунт-Вилсон, составило около $8 \cdot 10^{18}$ мол. $\text{O}_3/\text{см}^2$. Если использовать для вычисления содержания O_3 линейные соотношения, предложенные в работе [33], то неучет вклада NO_2 может привести к мнимому снижению ОСО на 30%. Чтобы разобраться в создавшейся противоречивой ситуации с величинами ОСО, полученными по нашим оценкам и по оценкам в [33], пришлось обратиться к среднегодовым значениям спектральных прозрачностей за период 1905—1906 и 1908—1911 гг., данные о которых приведены в работе [33].

Изменения ОСО в 1905—1911 гг. представлены на рис. 9. Отсутствие в [18] данных о спектральной прозрачности за 1907 г.

лишает возможности подтвердить достоверность скачкообразного изменения ОСО, а также отнести снижение (на 14%) среднегодовых значений ОСО именно к 1908 г. Тем не менее следует попытаться интерпретировать полученные данные с учетом воздействия на атмосферу вторжения дотунгусского болида и Тунгусского кометного метеороида.

Рассмотрим сначала представленные на рис. 9 изменения среднегодовых значений ОСО, рассчитанных по данным САО авторами настоящей работы, группой Р. Турко [33] и группой Б. Анжине [19]. Значения ОСО, рассчитанные в Ленинградском государственном университете, располагаются примерно посередине между значениями из других работ. При расчете важную роль играют правильный выбор аэрозольной спектральной оптической плотности, учет вклада диоксида азота в ослабление солнечного излучения и рассеянного света в спектроболетре. Определение спектрального хода всех составляющих ослабления в рабочем участке спектра (400—1200 нм), по-видимому, является обязательным этапом расчета ОСО.

Различие в методиках расчета приводит к расхождению значений ОСО у американских исследователей для 1910 г. на 18%, а для 1911 г. на 24% при одних и тех же исходных данных.

Модельная расчетная кривая, полученная группой Р. Турко, не укладывается в экспериментальные точки, что связано, очевидно, с сильной линеаризацией связей при моделировании фотохимических процессов в 1Д-модели.

Важно отметить, что снижение ОСО в 1908 г. не связано с вторжением ТКТ. Наши исследования показывают, что сильное разрушительное действие на озонный слой оказала инъекция сухого метеорного вещества, происшедшая весной 1908 г. при вторжении высокоскоростного дотунгусского болида (до-ТКТ). Поскольку продукты до-ТКТ появлялись над Маунт-Вилсон трижды, в том числе и в период прохождения продуктов ТКТ, то следует считать, что ТКТ не только не оказало разрушающего действия на озон, но скорее содействовало компенсации снижения уровня ОСО, задержав его падение на уровне $6,1 \cdot 10^{18}$ молекул $O_3 \cdot cm^{-2}$ в 1909 г., и способствовало росту ОСО в 1911—1913 гг. Такой вывод основывается на значениях ОСО, полученных для первого прохождения продуктов до-ТКТ (4 июня 1908 г.) над Маунт-Вилсон. Максимальное снижение ОСО достигало 30% от фонового значения. При втором прохождении облака до-ТКТ и прохождении облака продуктов ТКТ (4 августа) ОСО достигало $8—10 \cdot 10^{18}$ мол. O_3/cm^2 , т. е. средний уровень ОСО был превышен на $\sim 15\%$.

В связи с исследованиями А. Нефтеля и соавторов [28], определивших максимум нитратов в слое льда (Гренландия), относящемся к 1906 г., следует отметить, что среднегодовое содержание NO_2 в 1905 и 1906 гг. достигало $5 \cdot 10^{16} cm^{-2}$. Индивидуально для 1906 г. содержание NO_2 должно быть выше — $6,5 \cdot 10^{16} cm^{-2}$. Однако, анализируя данные А. Нефтеля, мы заметили двухгодичное запаздывание выпадений по отношению ко времени событий. Такой период запаздывания может быть связан с большим широтно-долготным удалением источника выбросов от Гренландии.

Следует отметить, что инъекция 150 Мт водяного пара, 80 Мт метана и аммиака в стратосферу Северного полушария должна резко изменить течение фотохимических процессов. Возможно, что во «влажных» условиях фотохимические процессы разрушения озона в присутствии больших количеств NO перестроились таким образом, что высокоскоростные реакции NO с HO_x частично оградил озон от разрушения в реакции образования NO_2 .

Присутствие дополнительных количеств водяного пара, метана и аммиака в стратосфере должно изменить (за счет увеличения «парникового» эффекта) термический режим не только страто-, но и тропосферы. Вполне вероятно, что из-за продолжительного времени жизни метана (7—11 лет), группы NO_x (3—4 года) и водяного пара в стратосфере (1,5—2 года), из-за возрастания ОСО в последующие за Тунгусским падением годы должно было ускориться начавшееся еще в прошлом столетии потепление климата, сначала в Северном, а затем и в Южном полушариях, но последовавшее в 1912 г. сильнейшее извержение вулкана Катмай задержало потепление климата.

В работе [33] была сделана попытка показать, что Тунгусская катастрофа вызвала временное похолодание климата в Северном полушарии. Оценки Р. Турко и соавторов основывались на представлении о том, что Тунгусский метеорит содержал огромное количество мелкодисперсного пылевого вещества.

В действительности же ТКТ, по-видимому, компенсировало охлаждение вследствие извержения 1907 г. (Штюбелья сопка) и падения дотунгусского каменного метеорита в 1908 г. Можно предположить, что влияние извержения вулкана Катмай на климат Северного полушария также было частично скомпенсировано вкладом продуктов Тунгусского вторжения (H_2O , CH_4 , NH_3) в парниковый эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бронштэн В. А.** Природа и происхождение метеорных тел // Проблемы происхождения тел Солнечной системы.— М.; Л.: ВАГО, 1975.— С. 265—301.
2. **Вознесенский А. В.** Падение метеорита 30 июня 1908 г. в верховьях реки Хатанги // Мирозведение.— 1925.— Т. XIV, № 1.— С. 25—37.
3. **Голенецкий С. П., Степанок В. В.** Кометное вещество на Земле // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 99—122.
4. **Гораздовский Т. Я.** Динамика взрыва Тунгусского метеорита в свете эффектов лабораторного реологического взрыва // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 74—82.
5. **Зоткин И. Т.** Об аномальных оптических явлениях в атмосфере, связанных с падением Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1961.— Вып. 20.— С. 40—55.
6. **Зоткин И. Т.** Траектория и орбита Тунгусского метеорита // Метеоритика.— 1966.— Вып. 27.— С. 109—118.
7. **Ковалевский А. Ф., Потанов И. Н.** Об угле наклона траектории Тунгусского метеорита // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 161—165.
8. **Коненкин В. Г.** Сообщения очевидцев о Тунгусском метеорите 1908 года // Проблема Тунгусского метеорита.— Вып. 2.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967.— С. 31—35.

9. Кринов Е. Л. Тунгусский метеорит.— М.: Изд-во АН СССР, 1949.— 200 с.
10. Мак-Кроски Р. Е., Шао Ци, Позен А. Болиды Прерийной сети. 1. Общие сведения и орбиты // Метеоритика.— 1978.— Вып. 3.— С. 44—68.
11. Никитинская Н. И., Бартенева О. Д., Веселова Л. К. Об изменчивости спектральной оптической толщи атмосферы в условиях высокой прозрачности // Изв. АН СССР. ФАО.— 1973.— Т. 9, вып. 4.— С. 437—442.
12. Никольский Г. А., Сафронова М. М., Шульц Э. О. Об оптических толщинах аэрозольной компоненты ослабления в высокогорных условиях // Материалы XII Сессии по актинометрии «Использование актинометрической информации для нужд народного хозяйства.— Иркутск: Лимнологический ин-т, 1984.— С. 87—88.
13. Ночные светящиеся облака и оптические аномалии, связанные с падением Тунгусского метеорита // Васильев Н. В., Журавлев В. К., Журавлева Р. К. и др.— М.: Наука, 1965.— 112 с.
14. Соботович Э. В., Квасница В. А., Ковалюх Н. Н. Новое свидетельство вещественности Тунгусского тела // Метеоритные и метеорные исследования.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1983.— С. 138—141.
15. Фесенков В. Г. Помутнение атмосферы, произведенное падением Тунгусского метеорита 30 июня 1908 г. // Метеоритика.— 1949.— Вып. 6.— С. 8—12.
16. Фесенков В. Г. О кометной природе Тунгусского метеорита // Астроном. журн.— 1961.— Т. 38, № 4.— С. 577—585.
17. Эпикетова Л. Е. Новые показания очевидцев падения Тунгусского метеорита // Вопросы метеоритики.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976.— С. 30—34.
18. Abbot C. G., Fowle F. E., Aldrich L. B. Annals of the Astrophysical Observatory of the Smithsonian Institution.— Washington: U. S. Govt Printing Office, 1913.— V. III.— 235 p.
19. Angione B. J., Medeiros E., Roosen R. G. Stratospheric ozone as viewed from the Chappuis band // Nature.— 1976.— V. 261, N 5554.— P. 289—290.
20. Cepelcha Z., McCrosky R. E. Fireball and heights: A diagnostic for the structure of meteoric material // J. Geophys. Res.— 1976.— V. 81, N 35.— P. 6257—6275.
21. Christie A. D. Secular and cyclic change in ozone // Pure, Appl. Geophys.— 1973.— V. 106—108, N V—VII.— P. 1001—1009.
22. Fesenkov V. G. A study of the Tunguska meteorite fall // Sov. Astron.— 1966.— V. 10.— P. 195—213.
23. Fesenkov V. G. Nature of comets and the Tunguska phenomenon // Solar System Res.— 1969.— V. 3.— P. 177—179.
24. Fowle F. E. The non-selective transmissibility of radiation through dry and moist air // Astrophys. J.— 1913.— V. 38, N 4.— P. 392—406.
25. Ganapathy R. The Tunguska explosion site and the South Pole // Science.— 1983.— V. 220, N 4602.— P. 1158—1160.
26. Millman P. M. Interplanetary material // J. R. A. S., Canada.— 1974.— V. 68, N 1.— P. 13—22.
27. McClatchey R. A., Fenn R. W. e. a. Optical properties of the atmosphere.— Rept. of IAMAP Radiation Commission WG on a Standard Radiation Atmosphere, Seattle, Washington, 29 Aug. 1977.
28. Neftel A., Beer J., Oeschger H. e. a. Sulphate and nitrate concentrations in snow from South Greenland, 1895—1978 // Nature.— 1985.— V. 314, N 6013.— P. 611—613.
29. Park C. Nitric oxide production by Tunguska meteor // Acta Astron.— 1978.— V. 5.— P. 523—542.
30. Penndorf A. Tables of the refractive index for standard air and Rayleigh scattering coefficient for the spectral region between 0,2 and 20,0 μm and their application to atmospheric optics // J. Opt. Soc. Amer.— 1957.— V. 47, N 2.— P. 176—182.
31. Secanina Z. The Tunguska event: No cometary signature in evidence // Astron. J.— 1983.— V. 88, N 9.— P. 1382—1413.
32. Turco R. P., Toon O. B., Park C. e. a. Tunguska meteor fall of 1908: Effects on stratospheric ozone // Science.— 1981.— V. 215, N 4516.— P. 19—24.

33. Turco R. P., Toon O. B., Park C. e. a. An analysis of the physical, chemical, optical and historical impacts of the 1908 Tunguska meteor fall // Icarus.— 1982.— V. 50, N 1.— P. 1—52.
34. Whipple F. L. W. On phenomena related to the Great Siberian Meteor // Quart. J. Roy. Met. Soc.— 1934.— N 256.— P. 505—513.

Е. А. Каймаков, И. С. Лизункова

ДЕСТРУКЦИЯ КОМЕТНЫХ ЛЬДОВ

Развитие наблюдаемых кометных форм — результат многочисленных процессов, сопровождающих сближение с Солнцем сравнительно небольшого по размеру, но активного ядра. В этом смысле о комете следует говорить как о сложном явлении. Несмотря на большие успехи, достигнутые в изучении комет, существует неоднозначность в интерпретации результатов их наблюдений.

Спектральные наблюдения комет выявили, что наиболее интенсивные эмиссии принадлежат радикалам CN, C₂ и C₃. Каждый из них является фрагментом какой-то сложной «родительской» молекулы. К настоящему времени число отождествленных кометных эмиссий довольно велико [17], в табл. 1 приводятся некоторые из них.

Основной источник газопылевого деления в комете — ядро. Оно невелико по размерам и непосредственно не наблюдалось пока ни у одной кометы. Водяной лед считается основой ядер большинства комет [1]. С его сублимацией в потоке солнечной радиации связывают производительность кометного ядра как источника газа и пыли. Первое предположение о том, что водяной лед — основная компонента ядра, основывалось на сведениях об относительном обилии химических элементов в космосе. В 1973 г. это было (правда, косвенно) подтверждено радионаблюдениями кометы Когоутека 1973 XII, у которой впервые было обнаружено протяженное гало из ионизованных молекул воды H₂O [25]. О присутствии водяного льда в ко-

Т а б л и ц а 1

Эмиссии, наблюдаемые в кометах

Часть кометы	Радикалы и молекулы	Атомы	Ион-радикалы и ион-молекулы
Голова	CN, C ₂ , CH, CO, C ¹² , C ¹³ , NH, NH ₂ , OH, O ₂ , HCN, CH ₃ CN, S ₂ , CS, HCO, DCO, NH ₄ , NH ₃	O, H, /O1/, C, /Cl/, Na, S, Fe, Ni, Si, Ca, Cr, Mg, Cu, Co, K, Mn	CH ⁺ , OH ⁺ , O ₂ ⁺ , H ₂ O ⁺ , CN ⁺ , H ₂ S ⁺
Хвост			CO ₂ ⁺ , CO ⁺ , N ₂ ⁺ , CH ⁺ , OH ⁺

метам свидетельствуют и некоторые особенности их спектров в инфракрасном диапазоне длин волн [20].

В последние годы стало ясно, что даже на больших удалениях от Солнца $r > 4$ а. е. атмосферы комет рассеивают свет как пылевые облака, демонстрируя все фотометрические и поляризационные свойства последних. Газовая же компонента их атмосфер на таких расстояниях, как правило, не обнаруживается. Об этом свидетельствуют результаты наблюдений комет Швассмана — Вахмана I, Шустера 1975 II, Боуэлла 1980b и ряда других.

Возникает вопрос: какой физический процесс обеспечивает вынос в атмосферу кометы большого количества пылевой составляющей на тех гелиоцентрических расстояниях, где процессом сублимации можно пренебречь ввиду низкой равновесной температуры поверхности ядра? Теоретические оценки показали, что газопроизводительность ядер на этих расстояниях слишком низка, чтобы обеспечить вынос пыли газовым потоком [19]. Ответ на вопрос был получен при лабораторном изучении физико-механических свойств водяного льда при низких температурах [5].

Было установлено, что при облучении образцов из чистого водяного льда в их поверхностном слое развивается сеть трещин, дробящая этот слой на фрагменты размерами порядка 1 мм и меньше. По отношению к поверхности мелкие трещины располагаются обычно беспорядочно. Наряду с этим в глубине образца образуются преимущественно параллельно поверхности. Появление трещин — следствие значительного теплового расширения водяного льда в диапазоне температур 90—200 К, в котором проводились опыты.

Наиболее интенсивное растрескивание поверхностного слоя образцов (термодеструкция) наблюдается в температурном диапазоне 120—140 К. При дальнейшем повышении температуры образцов льда, как свидетельствуют опыты, образование новых трещин существенно замедляется. Способ приготовления исследованных образцов исключал наличие в них аморфного льда. Следовательно, был невозможен и фазовый переход льда из аморфной модификации в кристаллическую, который приводит к аналогичным эффектам.

При облучении образцов, содержащих малые количества (менее 1 вес. %) молекулярных примесей тугоплавких веществ, термодеструкция максимальна при тех же температурах. Однако в этом случае наблюдается более резкое изменение отражающих свойств поверхности при деструкции, что связано с образованием более густой сети микротрещин, отстоящих друг от друга на расстояниях не меньше 10 мкм.

Особое внимание уделялось термодеструкции льда, содержащего сотые доли весового процента углекислого газа [7]. Установлено, что по мере нагрева от поверхностного слоя льда, содержащего равномерно распределенные молекулы CO_2 , отделяются фрагменты размером в несколько миллиметров. Скорость выброса фрагментов зависела от гранулометрии и достигала 8 м/с.

На основе результатов лабораторных экспериментов по исследованию физико-механических свойств льдов при низких температурах можно провести феноменологическое рассмотрение развития кометы как явления, существенно отличающееся от общепринятого [10].

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА РАЗВИТИЕ КОМЕТЫ КАК ЯВЛЕНИЯ

Представления о развитии комет и объяснения наблюдательных данных по их фотометрии и поляриметрии начинаются с предпосылок о природе и характере активности ядер. В настоящее время общепринята модель ледяного ядра-конгломерата. В соответствии с ней при сближении кометного ядра с Солнцем температура его поверхности повышается и начиная с некоторого гелиоцентрического расстояния r ядро становится источником газопылевыделения. При этом видимый блеск кометы зависит как от размеров ядра, так и от интенсивности фазовых переходов. Такой подход наиболее полно разработан в теоретическом отношении и представляется большинству исследователей единственно возможным.

Однако из проведенных экспериментов следует, что термодеструкция, неизбежная при облучении льдов, расчленяет монолитный образец на фрагменты, т. е. часть поглощенной образцом энергии затрачивается на работу по дроблению. Возникновение трещин резко уменьшает суммарную теплопроводимость поверхностного слоя, препятствуя тем самым прогреванию образца внутрь. Слои, расположенные на различной глубине параллельно поверхности, имеют разную температуру. Возникают условия для перекристаллизации льда в трещинах с более теплых граней на внутренние — более холодные. Перекристаллизация сопровождается перемещением трещин к поверхности и высвобождением молекул газа с накоплением их в трещинах. Утечка газа через поперечные трещины затруднена в силу их большого аэродинамического сопротивления. Поэтому накопление газа в магистральных трещинах продолжается до достижения некоторого критического давления, достаточного для преодоления сил сцепления между прогретым слоем и холодным основанием и для передачи импульса фрагментам прогретого слоя.

В условиях комет термодеструкция сопровождается выбросом фрагментов в околоядерную область (ОЯО). Эти фрагменты — ледяные тела — и становятся основным источником газопылевыделения кометы. Следует подчеркнуть, что процесс деструкции начинается на больших удалениях от Солнца и до гелиоцентрических расстояний в 5 а. е. остается едва ли не единственной причиной активности кометного ядра и наблюдаемости кометы в целом. На меньших расстояниях на активность комет уже заметно влияют фазовые переходы, протекающие на поверхности тел роя, в частности переход аморфной модификации водяного льда в кристаллическую, сублимация летучих составляющих, возможное разложение клатратных структур

и т. д. На развитии кометы как явления должны заметно сказываться вариации химического состава и структуры ядер реальных комет. Строгий расчет совокупности всех физических процессов сложен. Тем не менее даже качественное рассмотрение факторов, определяющих активность кометы, приводит к важным астрофизическим следствиям. Остановимся подробнее на некоторых.

Поступление льдистых тел в ОЮ кометы. На основании данных об особенностях теплового расширения водяного льда можно заключить, что термодеструкция кометного ядра должна начинаться при нагревании его поверхности выше 70 К, поскольку в этой точке имеет место инверсия знака коэффициента теплового расширения. Такая температура поверхности ядра характерна для гелиоцентрических расстояний в 15—16 а. е. Как следует из лабораторных экспериментов, основная масса льдистых тел, покидающих поверхность, должна иметь миллиметровые размеры и скорость поступательного движения ~ 1 м/с. По мере их отхода от ядра растут угловые размеры кометы, и уже на расстоянии 11—10 а. е. она становится доступной для наблюдений. Крупные неоднородности в составе и строении ядер должны проявляться сгустками и конденсатами в видимом изображении кометы, а также как микровспышки блеска. Собственное вращение ядра, как правило, облегчает отделение фрагментов поверхностного слоя и способствует локализации роя в экваториальной области.

Таким образом, в атмосферах комет должна содержаться значительная масса вещества, какое-то время никак не проявляющая себя. Однако выброс именно этой массы приводит к важнейшим особенностям развития кометы. С ней же могут быть связаны и негравитационные эффекты.

Трансформация льдистых частиц в атмосфере кометы. Время жизни льдистых частиц в атмосфере кометы зависит от их гранулометрии и содержания примесей. По оценкам [22], для монолитных частиц в зависимости от этих параметров оно может составлять от 10^3 до 10^{10} с. Однако в случае растрескавшихся частиц — продуктов термодеструкции кометного ядра — может происходить последующее их дробление на более мелкие. К дроблению льдистых частиц в атмосфере кометы может приводить ряд факторов, в том числе высокоскоростные потоки солнечной плазмы (солнечный ветер и космические лучи). Процесс может носить каскадный характер и приводить к пополнению кометной атмосферы частицами микронных и субмикронных размеров.

Распределение льдистых частиц в атмосфере кометы. В атмосфере любой кометы могут быть выделены слои, отличающиеся не только химическим составом, но и характером протекающих процессов. Представляется целесообразным рассмотреть стратификацию кометных атмосфер, взяв за основу поэтапную трансформацию кометного вещества.

Первая ближайшая к ядру зона радиусом около 100 км (ОЮ) характеризуется большим содержанием сравнительно крупных льдистых тел разнообразной формы размерами от сантиметров до милли-

метров. Поскольку самая крупная фракция льдистых тел в атмосфере кометы имеет скорости отхода от ядра меньше чем 1 м/с, то значительная их доля, покидая поверхность ядра, остается гравитационно связанной с ним. Внешне такая система должна иметь более или менее четкие границы и визуально обнаруживаться как ядерная конденсация — псевдоядро кометы. Эта область ОЯО при наблюдениях может быть ошибочно принята за собственное ядро [16], но со странными параметрами: крайне низкими альбедо и стертойостью присущих твердым телам фотометрических и поляриметрических фазовых зависимостей. Хотя в этой зоне присутствуют и льдистые частицы, и пыль, но соотношение между ними постоянно меняется.

Поперечник псевдоядра можно оценить, используя законы классической механики. Для этого достаточно рассчитать размер зоны гравитационного влияния ядра, находящегося в поле тяготения Солнца. Подобные расчеты были выполнены для поперечников псевдоядер ряда комет, удаленных на 1 а. е. от Солнца (табл. 2).

Следует отметить, что наличие тангенциальной составляющей скорости льдистых тел при условии неоднородности распределения их в пространстве может восприниматься как собственное вращение ядра.

Вторая зона атмосферы кометы (до 10^4 км) содержит как крупные льдистые тела, так и продукты их дробления размерами от сотен до единиц и долей микрон. Скорости же, существенно зависящие от концентрации летучих примесей, должны лежать в пределах от 0 до 10 м/с.

Третья зона содержит льдистые частицы, которые постепенно исчезают в ходе сублимации, и образующиеся из них пористые пылинки типа солевых матриц. Именно здесь максимально газопылевывделение и многие процессы существенно зависят от солнечного электромагнитного и корпускулярного излучений. В этой зоне, простирающейся до 10^5 км, может происходить нейтрализация заряженных компонент солнечного ветра, формироваться водородное и гелиевое гало кометы.

Льдистые тела и субмикронная пыль внешних зон ответственны за появление родительских молекул на периферии кометных атмосфер и в хвостах. Размеры зон, относительное содержание льдистых частиц и температура пыли в них зависят от ряда факторов,

Т а б л и ц а 2

Предполагаемый поперечник D псевдоядер различных комет на гелиоцентрическом расстоянии в 1 а. е.

Название кометы	Энке	Кроммелина	Галлея	Джиакобини—Циннера	ИРАС—Араки—Олкока	Швассмана—Вахмана I
D , км	6,5	12	60	13	12	430 *

* Дано для перигелия (5,4 а. е.).

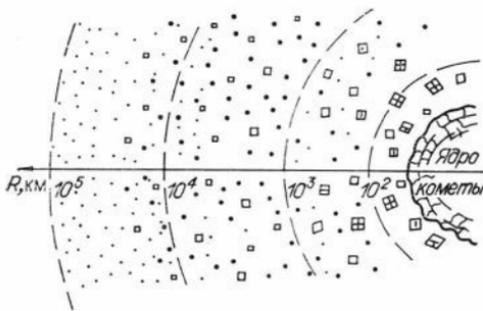


Рис. 1. Распределение льдистых частиц (квадратики) и пыли (точки) в кометной атмосфере.

в первую очередь от местонахождения кометы на орбите. На рис. 1 представлена схема стратификации кометной атмосферы.

Температура кометных ядер.

Обычно полагают, что глубина прогрева ядер комет составляет многие десятки метров. Наличие термодеструкции вносит существенные коррективы в оценки реального масштаба прогрева. Действительно, развитая сеть трещин резко уменьшает теплопроводность поверхностного слоя. Это обусловлено сохранением в деструктурированном слое лишь точечных контактов между отдельными фрагментами и незначительностью газовой теплопередачи при температурах около 140°K . Другое важное обстоятельство, о котором уже упоминалось, — увеличение отражательной способности поверхностного слоя ядра, препятствующее проникновению солнечной радиации вглубь. Исходя из экспериментальных результатов можно заключить, что зона поглощения излучения локализуется в слое льда толщиной порядка метра. Под этим слоем находится невозмущенная низкотемпературная область, которая обнажается при его сбросе. Таким образом, температура поверхности ядер вряд ли превышает 140°K . Поэтому применение понятия равновесной температуры в приложении к ядрам комет на малых гелиоцентрических расстояниях требует осторожности. Обновление поверхности ядра за счет термодеструкции исключает возможность ее полного зарастания тугоплавкой корой, что связывают с конечным этапом эволюции кометы, ее угасанием и смертью.

Размер кометных ядер. Существование протяженного источника газопылевыделения кометы ставит под сомнение прежние оценки размеров ядер комет, которые выполнялись на основе представления о прямой зависимости блеска кометы от величины площади ее ядра. В действительности следует учитывать суммарную поверхность роя льдистых тел и пыли, величина которых определяется темпом каскадной деструкции, а на малых гелиоцентрических расстояниях — и фазовыми превращениями. Так как суммарная поверхность облака во много раз превосходит площадь ядра, то диаметр кометных ядер, скорее всего, в несколько раз меньше, чем следует из традиционных оценок. Обычно для расчетов поперечника ядра используют формулу [24]

$$\lg M = 21 - 0,4H_0, \quad (1)$$

где M — масса ядра кометы, равная $\frac{4}{3} \pi \rho R^3$ (г); H_0 — абсолютная звездная величина кометы; R и ρ — радиус (см) и плотность ядра (г/см^3) соответственно. По этой формуле, радиус ядра кометы Галлея

более 15 км. В соответствии же с предложенной моделью диаметр незапыленного ядра кометы Галлея составляет несколько километров. Для большинства комет оценки дают величину до 2 км.

Поляризация света, рассеянного кометой. В практику исследования комет в последние годы все шире входят поляризационные наблюдения. Основная цель их состоит в получении возможно более полной информации о природе и свойствах частиц, рассеивающих солнечный свет.

Уже первые шаги в этом направлении показали, что поляризация света различна для головы и хвоста комет. Она зависит также от длины волны электромагнитного излучения и взаимного расположения Солнца, кометы и наблюдателя — от так называемого фазового угла. Максимальная степень поляризации наблюдается в хвостах и составляет десятки процентов. При больших фазовых углах наблюдений она положительна, при малых (меньше 25°) — отрицательна.

Интерпретация результатов поляризационных наблюдений комет исключительно сложна, поскольку рассеивать солнечный свет в них одновременно могут и твердое ядро, и льдистые тела атмосферы, и, наконец, пылевая и газовая компоненты. Представление о наличии в атмосфере кометы льдистых тел приводит к заключению о закономерности изменения поляризационного эффекта у каждой отдельной кометы, связанного с эволюционным распадом льдистых тел по мере сближения кометы с Солнцем.

Действительно, на больших удалениях от Солнца отражение света в основном зависит от твердого ядра и крупных частиц в ОЮ кометы. С уменьшением гелиоцентрического расстояния решающая роль в этом процессе постепенно переходит к мелкодисперсной пыли и газовой компоненте. Этому не противоречат результаты теоретического моделирования и проведенные за рубежом лабораторные исследования фазовых и поляризационных характеристик рассеяния пористой пыли сложного состава. В последние годы установлено, что только с помощью сравнительно крупных шероховатых частиц удается объяснить наличие у комет глубокой ветви отрицательной поляризации при малых фазовых углах и положение ее максимума, мало меняющееся с длиной волны рассеянного излучения. Частицами такого типа и являются продукты термодеструкции ядра кометы. Что касается высокой степени поляризации света от хвостов комет, то, скорее всего, она связана с эффектами ориентации удлинённых и пористых пылинок в потоке солнечной радиации [2].

Сходство поляризации света от хвостов комет и межпланетного пылевого облака (зодиакальный свет) свидетельствует об одинаковой природе рассеивающих частиц в них, а следовательно, и о том, что кометы вносят существенный вклад в пополнение пылевой компоненты Солнечной системы.

Солнечно-кометные связи. Существует статистически достоверная корреляция между уровнем корпускулярной активности Солнца и активностью многих комет. Для ее объяснения предложено более десятка физических механизмов. Однако ни один из них не удовлет-

воряет всей совокупности наблюдательных критериев. Вместе с тем известно, что высокоскоростные потоки солнечных протонов и α -частицы должны облегчать дробление льдинок по имеющимся в них трещинам и синхронизовать этот процесс в масштабе головы кометы. Он завершается, как правило, появлением сравнительно устойчивых к действию солнечного излучения бездефектных льдинок и пылинок микронных размеров. Такое развитие процессов может объяснить загадочные короткопериодические колебания блеска с характерным временем в несколько минут [8], которые часто наблюдаются у комет. Становится понятным также, почему с приближением к Солнцу и после перигелия амплитуда всплеск падает: непрерывное уменьшение содержания в атмосфере кометы крупных частиц приводит ко все меньшему развитию поверхности роя при каждой последующей его встрече с высокоскоростным потоком плазмы.

Изменение яркости комет во времени. Считается, что наблюдаемый блеск комет m лучше всего описан формулой [18]

$$m = H_0 + 5 \lg \Delta + 2,5 \cdot n \cdot \lg r, \quad (2)$$

где Δ и r — гео- и гелиоцентрические расстояния кометы во время наблюдения соответственно, H_0 и n — фотометрические параметры (H_0 — абсолютная звездная величина кометы, n — фотометрический показатель ее свечения). По данным многолетних фотометрических наблюдений комет, среднее значение показателя их свечения близко к 4. Поэтому выражение (2) с $n = 4$ часто используют в целях прогнозирования яркости конкретных комет. Однако если комета открыта задолго до перигелия, то, как правило, прогнозы эти плохо оправдываются. Дело в том, что в строгом смысле фотометрический параметр n является функцией гелиоцентрического расстояния [9].

Если принять во внимание наличие вблизи кометного ядра развитого облака льдистых тел и способность его компонентов к многокаскадной деструкции по мере сближения с Солнцем, то можно предложить иной подход к описанию изменения интегральной яркости комет с гелиоцентрическим расстоянием. Действительно, в случае постоянного во времени увеличения площади поверхности облака будем иметь [13]:

$$I \sim r^{-2} \cdot Q \cdot \exp(t_r/A), \quad (3)$$

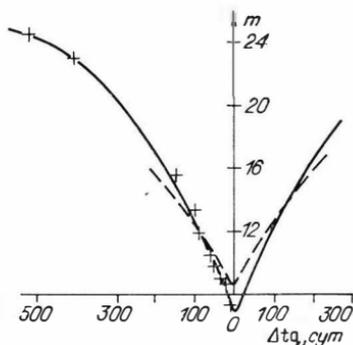
где I — сила света, отраженного головой кометы; Q — поток солнечного излучения на расстоянии 1 а. е. от Солнца; t_r — время перемещения кометы с гелиоцентрическим расстоянием до перигелия, зависящее от элементов орбиты; A — параметр, характеризующий время, за которое суммарная площадь поверхности кометного облака увеличивается в e раз.

Тогда в звездных величинах должны получить

$$m = H_0 + 5 (\lg \Delta + \lg r) + \frac{2,5 \lg e}{A} t_r, \quad (4)$$

где H_0 — абсолютная звездная величина кометы, т. е. ее блеск, приведенный к $\Delta = r = 1$ а. е. Это уравнение справедливо, если обра-

Рис. 2. Изменение яркости кометы Джиакобини-Циннера во времени. (0 соответствует моменту прохождения кометой перигелия.)



зующиеся в результате дробления льдистых тел частицы имеют те же оптические свойства, что и исходные тела.

Значения фотометрических параметров H_0 и A для каждой кометы в рамках предложенной модели определяются по результатам наблюдений [14]. Однако специальные исследования

показали, что нормальный ход яркости вновь открытой кометы можно надежно оценивать, используя (4) с параметром $A = \sim 100$ сут. Прогнозирование блеска комет на этой основе дает нижний предел яркости кометы в перигелии, поскольку не учитывает возможной вспышечной активности.

Для примера на рис. 2 крестиками обозначены данные наблюдений яркости кометы Джиакобини — Циннера в 1985 г. в широком диапазоне гелиоцентрических расстояний и сплошной линией — модельная кривая блеска согласно (4). Для сравнения штриховой линией дается прогнозируемый на основе традиционной модели (2) блеск этой кометы.

Решение системы из двух уравнений (2) и (4) относительно параметра n позволяет в рамках предлагаемой фотометрической модели рассчитать значение этого параметра на любом участке орбиты кометы, если известны элементы последней. Подобные расчеты были проведены для 178 комет в околоперигелийной зоне и дали хорошее согласие с результатами наблюдений. Впервые стало возможным объяснить и некоторые фотометрические аномалии, которые выявлены у ряда комет. В частности, теперь понятны высокие значения n (>6) у комет с большими перигелийными расстояниями, которые ранее не поддавались какой-либо физической интерпретации.

Вспышки яркости. У комет могут наблюдаться два типа вспышек яркости. Первый связан со сбросом отдельных участков прогреваемой поверхности ядра. Сброс поверхностного слоя ядра на больших расстояниях от Солнца должен сопровождаться появлением небольших количеств газов, в частности CO_2 и N_2 . Амплитуда вспышки определяется массой выброшенных в ОЯО льдистых тел и содержанием в них пыли и молекул нелетучих соединений, поскольку в ходе сублимации льдистые тела с неизбежностью выделяют мелкодисперсную пыль минерального и матричного типа. Длительность вспышки обусловлена временем жизни льдистых тел в атмосфере кометы, а периодичность задается содержанием летучих компонент и темпом их накопления в трещинах поверхностного деструктурированного слоя ядра. Темп накопления в первую очередь связан с положением кометы на орбите.

Такой подход позволил удовлетворительно объяснить особенности вспышечной активности ряда комет, в том числе большой пери-

одической кометы Швассмана — Вахмана I, которая выделяется своей почти круговой орбитой [8]. Этот тип вспышек характеризуется большой мощностью.

Вспышки второго типа связаны с взаимодействием вещества кометы с высокоскоростными потоками солнечной плазмы. Их амплитуда определяется в первую очередь параметрами потока: скоростью и концентрацией протонов. Продолжительность вспышки зависит от длительности воздействия корпускул на льдистые частицы и дисперсности последних. К этому типу вспышек блеска комет относятся рекуррентные (с периодом 27,5 сут), которым свойственна небольшая амплитуда.

В пользу изложенных представлений о наличии кометного облака льдистых тел говорят некоторые особенности эмиссионных спектров комет. Известно, например, что встречаются серьезные трудности при объяснении профилей яркости комет в эмиссиях металлов, атомарного кислорода и т. д. [1]. В частности, время жизни уровня $3^2P_{3/2, 1/2}$ для натрия до ионизации на гелиоцентрическом расстоянии в 1 а. е. составляет менее суток. Однако эта линия наблюдается на всем протяжении хвостов II типа, хотя для прохождения хвоста газовой молекулой понадобилось бы более 100 сут. Что касается эмиссий нейтрального кислорода, то более плавный профиль не согласуется с моделью точечного источника родительских молекул за который принимается ядро.

Может показаться странным, что, по результатам узкополосной фотометрии комет Стефана — Отерма и Брэдфилда, их газовая производительность в трех эмиссиях (OH, CN, C₃) изменялась с гелиоцентрическим расстоянием по одному и тому же закону [21]. В случае традиционного подхода этот эффект можно было бы объяснить лишь одинаковой величиной теплот десорбции трех различных родительских молекул, что представляется маловероятным. Продукты деструкции льдистых тел микронных размеров относительно устойчивы к процессу сублимации, а потому достигают периферии кометных атмосфер и радиационным давлением могут сноситься в хвосты. Именно эти частицы и ответственны за транспорт разнообразных родительских молекул на большие расстояния от ядра. После потери летучих компонент они преобразуются в рыхлые пылинки матричного типа размерами в десятки — сотые доли микрона. Такие частицы и не могут появиться в атмосфере кометы в ином виде. Именно их взаимодействие с солнечным излучением должно приводить к появлению эмиссий металлов. Это объясняет также, почему интенсивность некоторых линий всегда коррелирует с непрерывным спектром комет.

Поскольку эмиссионная активность кометы определяется развитием сублимирующей поверхности, т. е. ее активностью в континууме, то возможен переход от формул, описывающих особенности непрерывного спектра, к аналогичным выражениям типа (4), годным для оценки фотометрического показателя газовой светимости n_r кометы [15]. В качестве примера в табл. 3 приведены результаты вычисления n_r для циановой компоненты свечения ряда комет. Обра-

Фотометрический показатель n_r свечения комет в Эмиссии циана

$\lambda^{\circ} \text{ н/н}$	Комета	q , а. е.	P , год.	n_r	n_r^*
1	Энке	0,341	3,31	4,7	4,5
2	Свифта — Герелса	1,354	9,23	6,9	7,2
3	Кирна — Кви	2,229	9,01	11,1	9,8
4	Стефана — Отерма	1,595	38,84	6,7	6,6
5	Мейера	1,1	—	5,6	5,9

щает на себя внимание хорошее согласие n_r со значениями этого же параметра n_r^* , полученными из наблюдений. В табл. 3 приводятся и элементы кометных орбит: q — перигелийное расстояние, P — период обращения вокруг Солнца.

Предлагаемая модель принципиально применима и к описанию поведения ядер с отличной от водяного льда основой. Дальнейшие прецизионные наблюдения комет в эмиссиях и в континууме позволят детализировать и дополнить некоторые положения представленной модели развития кометы как явления.

ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В КОМЕТАХ

За кометные эмиссии ответственны продукты диссоциации и ионизации некоторых первичных более сложных родительских молекул. Восстановление химического состава ядер комет по данным наблюдений — задача, решаемая неоднозначно, поскольку каждый светящийся ион или радикал может возникать из многих первичных молекул.

Относительно природы родительских молекул комет был высказан ряд предположений. Считалось, что кометные ядра состоят в основном из простых сконденсированных газов: воды — H_2O , метана — CH_4 , аммиака — NH_3 , углекислого газа — CO_2 и т. п. Однако вскоре выяснилось, что они не могут обеспечить всего многообразия кометных спектров, а потому к ним были добавлены многие другие летучие соединения, в том числе органические.

Анализ показал [4], что в ядрах должны присутствовать такие типы соединений, как нитрилы (синильная кислота — HCN , ацетонитрил — CH_3CN и др.), альдегиды (муравьиный, или формальдегид, — H_2CO , уксусный — CH_3CO и др.), органические кислоты (муравьиная — HCOOH , уксусная — CH_3COOH и т. п.), спирты (метиловый — CH_3OH , этиловый — $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ и др.), аминокислоты (глицин — $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$, аланин — $\text{CH}_2\text{CH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ и т. п.). В спектрах паров большинства этих веществ наблюдаются характерные кометные эмиссии C_2 , CO , CH , CN , OH и т. д. Очень вероятно присутствие в ядрах комет не насыщенных водородом соединений, которые имеют двойные и тройные валентные связи, в том числе ацетилен (C_2H_2), метилацетилена (C_3H_4), цианполиинов (HC_nN).

Хотя общее количество летучих органических соединений в ядрах комет не превышает десятка процентов по весу, они способны обеспечить, как показывают лабораторные опыты, все свечение комет в линиях CN, C₂, C₃ и др.

Важным представляется вопрос о сохранении органики в ядрах комет. Сведений о стабильности этих соединений во льдах практически нет. Имеются лишь немногочисленные экспериментальные работы, в которых оценивается время жизни их в водных растворах, не подвергавшихся облучению. Экстраполируя эти данные на замороженные растворы в области низких температур, можно утверждать, что период полураспада большинства простых органических соединений во льдах составляет $\sim 10^9$ лет. Следовательно, молекулы органических соединений, вошедшие в состав кометных ядер на стадии конденсации протопланетного облака, могли сохраняться в течение всего времени существования Солнечной системы.

Ответ на вопрос о присутствии органических соединений в кометах следует искать в генетической связи между родительскими молекулами и молекулами межзвездной среды. До недавнего времени считалось, что в межзвездной среде сложные молекулы не образуются из-за чрезвычайно низких плотностей вещества и больших потоков УФ-излучения и космических лучей, губительных для них. Однако успехи радиоастрономии последних лет привели к ряду открытий в области космохимии. В 1968—1969 гг. в космическом пространстве впервые были обнаружены молекулы NH₃, H₂O и H₂CO. В последующее время количество идентифицированных молекул стремительно возрастало. Анализируя имеющийся перечень уже открытых межзвездных молекул, можно установить тождество большинства из них с предполагаемыми родительскими молекулами комет [23].

Результаты лабораторного моделирования показывают, что есть и другой способ появления сложных органических молекул в атмосферах комет — образование их на поверхности льдов под действием солнечной радиации. Так, нитрилы, обнаруженные у некоторых комет, при подводе энергии образуют разнообразные молекулы, в том числе молекулы аминокислот и карбамида — веществ, собственная летучесть которых меньше летучести воды — основы кометных ядер. В опытах по УФ-облучению замороженных растворов ацетонитрила, в частности, установлено, что в ходе сублимации раствора образуется твердый остаток, который состоит из частиц правильной формы микронных и субмикронных размеров. Вклад всевозможных нелетучих примесей иного происхождения при этом исключается, поскольку в экспериментах использовались препараты марки «спектрально-чистый». Из этого следует, что в кометах возможно образование молекул нелетучих органических соединений за счет трансформации простых летучих нитрилов под действием солнечной радиации. Эффективность этого процесса должна зависеть от времени облучения поверхности, т. е. от элементов кометной орбиты. Оценки показывают, что доля пыли органической природы может составлять десятки процентов от всей кометной пыли матричного типа, образующейся в ходе сублимации ледяных тел в атмосфере.

Нельзя исключить наличия в кометах полиформальдегида. Его мономер — формальдегид — является одной из наиболее распространенных межзвездных молекул, но не обнаруживается в кометах ввиду малого времени жизни до фотодиссоциации. Присутствием же более устойчивого полиформальдегида, как ничем другим, легко объяснить эмиссию CO^+ , наблюдаемую в хвостах комет.

При изучении систем из льда и пыли на поверхности образцов был обнаружен пористый слой из тугоплавких примесей, который образуется в ходе сублимации льда. Эти образования были названы пылевыми матрицами. В результате исследования льдов, содержащих молекулярные включения из неорганических и органических веществ, менее летучих, чем вода, было найдено формирование «солевых» матриц, аналогичных пылевым.

Лабораторные эксперименты показали, что матрицы не являются насыпными образованиями, а представляют собой систему из частиц и кристалликов, определенным образом ориентированных и упакованных. При подходящих условиях они могут дробиться на фрагменты, вплоть до структурных элементов микронных и субмикронных размеров. Вопрос заключается в том, достаточно ли для дробления матриц давления потока сублимирующих молекул. Для его решения было предпринято специальное исследование прочностных характеристик пылевых и солевых матриц [12]. Основной результат состоит в следующем (табл. 4).

Для разрушения матриц на поверхности ядра требуется, чтобы летучие компоненты (вода, аммиак, углекислый газ или метан) находились в равновесии не со льдом, а с жидкостью. Так как даже на расстояниях в 1 а. е. от Солнца поверхность ядер остается твердой (об этом свидетельствуют значения равновесных температур T_0 на расстоянии 1 а. е.), следует признать, что рыхлые матрицы у подавляющего большинства комет не могут быть разрушены и вынесены в атмосферу ни на каких участках орбит, в том числе и в перигелии. Иными словами, если началось зарастание ядра пылевой коркой, то, как правило, это процесс необратимый.

Таблица 4

Температуры T_K , при которых возможно разрушение поверхностного пористого слоя с плотностью ρ (г/см^3) под действием равновесного давления паров летучей основы ядра

Состав льда	T_0 , К	T_K , К			
		$\rho=5 \cdot 10^{-3}$	$\rho=10^{-2}$	$\rho=5 \cdot 10^{-2}$	$\rho=10^{-1}$
H_2O	195	224	254	289	329
NH_3	110	139	159	182	209
CO_2	107	120	136	153	173
CH_4	50	54	64	77	92

По природе присутствующие в атмосферах комет пылинки могут быть различны: 1) внутриядерная пыль, которая вошла в состав ядер в период их формирования; 2) матричная пыль, которая образовалась при агрегации имевшихся в составе ядра молекул нелетучих соединений; 3) пылинки из органики сложного состава, формирующейся из летучих компонент на поверхности ядра. В работе [5] высказывается предположение, что подавляющее большинство комет содержит лишь пылинки двух последних типов.

В последние годы неоднократно выдвигалось предположение о кометном происхождении или хотя бы об определенной связи с кометами небольших по объему небесных тел с малой плотностью, вторгающихся в атмосферу Земли. В первую очередь это касается тех объектов, которые разрушаются со взрывом, не оставляя на поверхности Земли каких-либо обломков. Упомянувшиеся выше исследования структуры и прочности пылевых и солевых матриц позволяют представить сложную последовательность процессов, приводящих к образованию таких объектов. Суть их в следующем.

В ходе конденсации газа и пыли в исходном протопланетном облаке возникали, в числе других тел, кометезимали — зародыши кометных ядер. Они различались размерами, орбитами и углами наклона плоскостей последних к центральной плоскости протопланетного диска. У кометезималей, орбиты которых имели существенный наклон, периоды вычерпывания вещества из исходного облака чередовались с периодами потери ими летучих компонент в результате сублимации и образования на поверхности пористых матриц. Скорость роста размера такого тела можно связать с наклоном его орбиты. Оценки, данные на основании результатов экспериментов по лабораторному моделированию, показывают, что подобные тела могли быть весьма пористыми [3].

Одним из важнейших условий существования насквозь пористых небесных тел является их достаточная механическая прочность. Опыты показали, что простейшие пылевые и солевые матрицы обладают незначительной прочностью. Однако в состав кометных льдов могут входить небольшие количества органических соединений (например, сахара), которые отличаются большим связывающим эффектом. Наиболее вероятный путь их образования в условиях космоса обусловлен трансформацией формальдегида под действием УФ-излучения. Опыты по облучению формирующихся матриц ИК-лазером с $\lambda = 10,6$ мкм позволили установить, что пористые образцы существенно упрочняются за счет выделения из простой органики соединений более сложного состава, внешне напоминающих битум [3].

Таким образом, есть все основания считать, что прочность пористых структур, формирующихся в ходе чередования процессов конденсации вещества и сублимации летучих в условиях УФ- и ИК-облучения, может оказаться достаточной для того, чтобы насквозь пористое тело под действием внешних возмущений не распалось на рой отдельных пылинок. Такие тела с $\rho \geq 0,01$ г/см³ в Солнечной системе не могут иметь большие размеры (поперечник их не превы-

шает 100 м) и должны характеризоваться низким значением альбедо из-за сильно развитой поверхности. При тесном сближении с Солнцем они могут выделять незначительные количества газов, образуя слабые атмосферы. В этом смысле они подобны кометам. При встрече же с Землей они должны порождать явления, сходные с теми, которые наблюдались в бассейне р. Подкаменная Тунгуска.

Однако существенно более мощное геофизическое явление должно иметь место при вторжении в атмосферу Земли ядра реальной кометы. Образование кометного облака льдистых тел и пыли в ходе термодеструкции поверхностного слоя ядра резко увеличивает сечение взаимодействия космического объекта с атмосферой. В свете изложенного была бы интересна детальная разработка различных аспектов последствий подобного вторжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский О. В. Кометы. — М.: Наука, 1966. — 288 с.
2. Долгинев А. З., Митрофанов И. Г. Возможность изучения межпланетного магнитного поля по круговой поляризации зодиакального света // Материалы VII Ленинградского международного семинара «Корпускулярные потоки Солнца и радиационные пояса Земли и Юпитера». — Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1976. — С. 217.
3. Драневич В. А., Каймаков Е. А., Лизункова И. С. и др. Возможность существования в Солнечной системе кометоподобных тел с малой приведенной плотностью // Проблемы космической физики. — Киев: Вища школа, 1981. — Вып. 16. — С. 131—135.
4. Каймаков Е. А. Возможные родительские молекулы кометных ядер // Проблемы космической физики. — Киев: Вища школа, 1974. — Вып. 9. — С. 141—155.
5. Каймаков Е. А., Лизункова И. С. Эрупция прогреваемого слоя ядер комет // Кометный циркуляр. — 1981. — № 280. — С. 23.
6. Каймаков Е. А., Лизункова И. С. Объяснение вспышечной активности кометы Швассмана—Вахмана I на основе новой модели кометы // Кометный циркуляр. — 1981. — № 283. — С. 3—4.
7. Каймаков Е. А., Лизункова И. С. О термодеструкции и перекристаллизации кометных льдов // Тезисы докладов Всесоюзной конференции по физике и динамике малых тел Солнечной системы. — Душанбе: Дониш, 1982. — С. 10.
8. Каймаков Е. А., Лизункова И. С. Возможный механизм взаимодействия солнечных корпускулярных потоков с льдистыми частицами кометных атмосфер // Кометный циркуляр. — 1983. — № 290. — С. 2—3.
9. Каймаков Е. А., Лизункова И. С. О фотометрическом показателе светимости комет // Кометный циркуляр. — 1983. — № 298. — С. 2—3.
10. Каймаков Е. А., Лизункова И. С., Светов Ю. П. Кометы на Земле. — Л.: Знание, 1986. — 36 с.
11. Каймаков Е. А., Матвеев П. Н. Состав и структура кометных ядер // Кометы и метеоры. — 1980. — № 28. — С. 3—17.
12. Лизункова И. С. Астрофизические приложения исследования прочности матриц солевого типа // Астроном. циркуляр. — 1984. — № 1343. — С. 5—8.
13. Лизункова И. С., Каймаков Е. А. Об изменении интегральной светимости комет с гелиоцентрическим расстоянием // Кометный циркуляр. — 1982. — № 301. — С. 4.
14. Лизункова И. С., Каймаков Е. А. Новый подход к оценке абсолютного блеска комет // Кометный циркуляр. — 1983. — № 316. — С. 3—4.
15. Лизункова И. С., Каймаков Е. А. Свечение газовой составляющей кометных атмосфер // Кометный циркуляр. — 1984. — № 320. — С. 3—4.
16. Лизункова И. С., Каймаков Е. А. О природе ядерных конденсаций комет // Кометный циркуляр. — 1985. — № 342. — С. 3.

17. **Матвеев П. Н.** Моделирование и реконструкция химического состава ядер комет: Дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Л., 1985.— 210 с.
18. **Чурюмов К. И.** Кометы и их наблюдения.— М.: Наука, 1980.— 160 с.
19. **Шульман Л. М.** Состав кометных ядер. Космогонический подход.— М.: ИГиЛ АН СССР, 1983.— 19 с.
20. **Campins H., Ricke G. H., Lebofsky M. Y.** Ice in comet *Bowell 1980* // *Nature*.— 1983.— V. 301, N 5899.— P. 405.
21. **Hearn M. F., Millis R. L., Birch P. V.** Comet *Bradfield 1979X* — the gassiest comet? // *Astron. J.*— 1981.— V. 86, N 10.— P. 1559—1566.
22. **Hanner M. S.** On the detectability of ice grains in the comae of comets // *Icarus*.— 1981.— V. 47, N 3.— P. 342—351.
23. **Oro J.** Extraterrestrial organic analyses // *Space Life Sci.*— 1972.— N 3.— P. 507—550.
24. **Porter J. G., Wurm K., Biermann J.** *The Moon, Meteorites and Comets*.— Chicago: Middlehurst and Kuiper.— 1963.— 618 p.
25. **Sluder L. E.** Radio detections of cometary Molecular transitions: a review // *Study of comets*.— Pt II.— Washington: NASA, 1976.— P. 232—252.

**В. А. Бронштэн, В. С. Гребенников,
Д. Д. Рабунский**

КАТАЛОГ ЭЛЕКТРОФОННЫХ БОЛИДОВ

ВВЕДЕНИЕ

Электрофонными, согласно терминологии, предложенной в свое время П. Л. Дравертом и введенной в науку И. С. Астаповичем [3, 4], называются такие болиды, которые сопровождаются звуковыми явлениями, одновременными и даже предшествующими оптическим. Сведения о наблюдении этих аномальных звуковых явлений прощли в печать с очень давних времен, однако не все специалисты им верили. Хорошо зная, что скорость звука — около 330 м/с и, значит, расстояние в 100 км звук пройдет за ~ 5 мин, такие специалисты, как Ч. Оливье [58], К. Уайли [66], в ранних работах Б. Ю. Левин [18], в принципе не допускали реальности звуков, одновременных с полетом самого болида. Они объясняли слышимость этих звуков психологическими эффектами (неопытному наблюдателю будто бы кажется, что он слышит звук, которого в действительности нет).

Ошибочность этой психофизиологической гипотезы показать нетрудно, поскольку многие наблюдатели, в том числе и один из авторов данной работы (В. С. Гребенников), подчеркивают, что сперва слышали звуки и лишь потом, подняв глаза (подойдя к окну, к открытой двери на улицу), увидели полет болида. Обилие таких наблюдений не оставляет никаких сомнений в реальности аномальных звуков. Задача специалистов состоит в их физическом объяснении.

Если признать реальность аномальных звуков, то объяснить их можно одним из двух механизмов — электростатическим или электромагнитным. Электростатический состоит в том, что болид

наводит на близкие к наблюдателю земные предметы электрический заряд, который, стекая, и производит регистрируемые наблюдателем звуки; электромагнитный — в том, что от болида распространяются электромагнитные излучения на радиочастотах, близких к звуковым (килогерцы), которые вблизи наблюдателя (возможно, в его ушной раковине) превращаются в звуковые колебания.

Различные варианты электростатического механизма рассматривали В. В. Иванов и Ю. А. Медведев [13, 14]. Теорию электрического разряда при пролете метеоров разрабатывали В. П. Докучаев [10] и А. П. Невский [29], магнитные эффекты полета метеоров — А. Дженкинс и Б. Дюваль [43], С. Чепмен и А. Ашур [37]. Следует, однако, отметить, что результаты, полученные этими авторами, весьма различаются между собой. Теория электрических и магнитных явлений, порождаемых метеорами, еще требует внимания физиков.

Инструментальные регистрации электрических или магнитных явлений при пролете метеоров практически полностью отсутствуют. Правда, в 1949 г. А. Г. Калашников [15, 16] объявил о регистрации метеоромагнитного эффекта, и именно его работа дала толчок целой серии исследований, как теоретических [10, 37, 43], так и экспериментальных [30, 35]. Но результаты А. Г. Калашникова не подтвердились. Даже при пролете яркого электрофонного болида 7 апреля 1978 г. над Восточной Австралией [43, 44] магнитографы не показали каких-либо возмущений [44]. Не дала положительного результата и попытка Дж. Хокинса [39, 40] обнаружить совпадение магнитных возмущений и полета метеоров.

Электромагнитный механизм возбуждения радиоволн, переносящих энергию от болида к наблюдателю, разработал В. А. Бронштэн [5], используя идею К. Кэя [44] об усилении магнитного поля в следе метеора при запутывании магнитных силовых линий турбулентными движениями. В работе [5] показано, что необходимое условие для запутывания магнитных силовых линий, приводящего к многократному усилению магнитного поля, осуществляется лишь у ярких болидов. Только у них магнитное число Рейнольдса $Re_m > > 10$. Релаксация энергии усилившегося магнитного поля, даже если только 1% ее перейдет в энергию радиоволн, даст достаточно энергии для возбуждения звуковых явлений (при к. п. д. $\sim 10^{-3}$).

Кроме этих двух механизмов, для объяснения явления электрофонных болидов предлагаются и другие. Так, Г. А. Аскарьян [2] предложил механизм «светотермогенерации» звука модулированным с килогерцевой частотой излучением болида, возбуждающим якобы колебания почвы с той же частотой. В этой же работе он предложил еще один механизм — возмущение электрического поля Земли дипольным моментом следа болида. Оба механизма Аскарьяна представляются совершенно нереальными: первый — потому что постулированная в нем глубокая модуляция свечения болида с периодом в доли миллисекунды пока никем не зарегистрирована, а если бы она и существовала, то вызывала бы колебания температуры слоя почвы толщиной всего в 1 мкм; второй пока не только не имеет экспериментального подтверждения, но и не дает нужного выхода энергии.

Чтобы сделать выбор из предложенных механизмов, нужно иметь инструментальные регистрации звуков или радиоволн, испускаемых болидами. Собственное радиоизлучение метеоров пока надежно не зафиксировано, хотя радиошумы при пролете ярких метеоров наблюдались [35]. Однако эти радиошумы не обязательно связаны с генерацией радиоволн следом метеора, а могут быть вызваны отражением или преломлением на следе радиоволн от наземных радиостанций.

Для фиксации собственного радиоизлучения метеоров и болидов нужно быть уверенным в отсутствии помех естественного и искусственного происхождения. Естественные помехи в данном случае — это в основном свистящие атмосферерики, порождаемые молниевыми разрядами. Яркие болиды также могут возбуждать атмосферерики, но с аномальной длительностью и структурой, поскольку полет болида на три порядка продолжительнее разряда молнии. Искусственные помехи связаны с работой промышленных установок, движением электропоездов и т. д.

Один из способов избавиться от помех — соединение приемной антенны, работающей в диапазоне СНЧ, с радиолокационной метеорной станцией так, чтобы некоторый фильтр на выходе пропускал только те СНЧ-сигналы, которые будут синхронны с отражением сигнала радиолокатора метеорным следом. Тогда можно быть уверенным, что источником СНЧ-сигнала является именно след метеора. Другой путь обнаружения предполагаемых метеорных атмосферериков состоит в анализе имеющихся записей этих явлений и в сравнении их моментов с пролетом ярких болидов, особенно электрофонных.

В. С. Гребенников предлагает квантово-механическое объяснение феномена электрофонных болидов — взаимодействие волн де Бройля, идентичное воздействию многополостных трубчатых и сетчатых структур на живые организмы [8, 9]. В том и другом случае возникает один и тот же комплекс ощущений — не только звуковых, но и обонятельных, тактильных, термических (см. болиды 46, 55, 311, 338), в том и другом случае восприятие людей сугубо индивидуально и неодинаково.

Как бы то ни было, регистрация и изучение механизма незвуковых ощущений, возбуждаемых болидами, очень важны: именно весь комплекс этих явлений может подсказать принципиально новые подходы к проблеме и привести к фундаментальным открытиям на стыках астрофизики, биофизики и квантовой механики.

До настоящего времени было опубликовано четыре каталога электрофонных болидов: И. С. Астаповича [3], охватывающий 163 объекта, К. Любарского [19], основанный на данных архива Комитета по метеоритам АН СССР до 1953 г. и включающий 63 объекта, М. Ромиг и Д. Ламара [30], содержащий 48 болидов, наблюдавшихся в США и других странах до 1961 г., В. С. Гребенникова с описанием 46 болидов [7].

В наш каталог включено 343 наблюдения электрофонных болидов. Для каждого болида приводятся: дата, время (всемирное), место

наблюдения, очевидец, описание вида болида и характера аномальных звуков со слов наблюдателя, источник информации. В ряде случаев подробные описания эффектов, опубликованные в работах [2, 7, 12 и др.], значительно сокращены.

Авторы считают своим долгом выразить глубокую благодарность руководству Комитета по метеоритам АН СССР за предоставление возможности просмотра архива КМЕТ, научному сотруднику Института геохимии и аналитической химии АН СССР им. В. И. Вернадского Р. Л. Хотинку, заведующему отделом метеоритов Московского отделения ВАГО В. И. Ковалю, председателю астрономической секции Ярославского отделения ВАГО А. М. Огневу, ученому секретарю Комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР Г. М. Ивановой, сотруднику редакции журнала «Вокруг света» В. В. Каблукову за предоставление многих наблюдений электрофонных болидов, включенных в настоящий каталог.

КАТАЛОГ

1. 1683 г., 12 августа, ночью.

В Гамбурге, Лейпциге, Виттенберге, Йене и других городах было видно падение тела наподобие бомбы, издававшего звук с треском, как молния [60, с. 227].

2. 1726 г., 18 октября, 19 ч.

г. Варшава. Наблюдался метеор, сопровождаемый сильным громом, как бы из него исходившим [60, с. 228—229].

3. 1808 г., 1 сентября, 20 ч 07 мин.

г. Москва, наблюдение из здания МГУ. Очевидец не известен*.

Наблюдался яркий электрофонный болид, создавший свечение, как от «в кислородном газе зажженного фосфора» (рис. 1). «Мы заметили его по сильному треску па небе» (Отдел письменных источников Государственного исторического музея, ф. 233, ед. хр. 8, л. 7—8).

4. 1820 г., 12 июля, 17 ч 30 мин.

Латвия, Даугавпилсский уезд. Наблюдатель Зыберг. На высо-

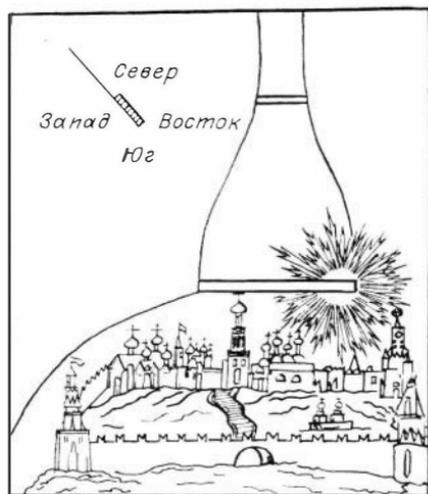


Рис. 1. Болид 1 сентября 1808 г. Рисунок неизвестного наблюдателя, видевшего болид через окно здания Московского университета (из архива Государственного исторического музея).

* Материал нам передал Н. П. Соколов, которому авторы выражают свою благодарность. Наблюдателем мог быть либо М. И. Панкевич, профессор прикладной математики Московского университета, либо физик П. И. Страхов, проводивший также некоторые астрономические наблюдения.

те 60° огненный шар розового цвета с хвостом пролетел и на высоте 30° скрылся. При пролете шара раздавался шум наподобие трещотки. Полет болида закончился выпадением метеорита Ликсна (Архив КМЕТ).

5. 1852 г., 11 декабря, 8 ч.

В Силезии, Берлине и других местах наблюдался яркий болид. Слышались выстрелы и иные звуки [60, с. 232—233].

6. 1855 г., 23 января.

В г. Будзишине (Польша) наблюдался болид, распавшийся на три горящих шара. Они погасли, издав такой сильный шум, что жители выбежали из домов [60].

7. 1856 г., 1 мая, 19 ч 45 мин.

В г. Ломже (Польша) наблюдался болид, причем во время его дробления был слышен треск с шумом [60, с. 233].

8. 1863 г., 7 декабря, 11 ч 30 мин.

Бельгия, г. Турлемоп. При падении метеорита Турини-ля-Гросс был слышен грохочущий звук, а затем свист [64].

9. 1868 г., 30 января, 18 ч.

Польша. При падении метеорита Пултуск слышались треск и шум, похожие на шум огня в печи [60, с. 234—235] (рис. 2—4).

10. 1894 г., 7 декабря, 18 ч 30 мин.

Польша. При падении метеорита Ружана в воздухе был слышен глухой шум [59].

11. 1897 г., июнь — июль.

Черниговская губ. При полете болида очевидцы слышали шум ([19, с. 160], Архив КМЕТ).



Рис. 2. Полет болида 30 января 1868 г., закончившегося выпадением метеоритного дождя Пултуск. Вид из Варшавы (по Е. Покшивницкому).

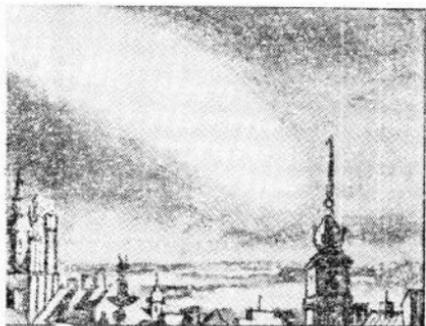


Рис. 3. Полет болида 30 января 1868 г. над Варшавой (по Е. Покшивницкому).

12. 1906—1910 гг., лето, вечер.

40 км севернее г. Москвы. Наблюдатель В. И. Данилин. Болид в виде яблока пролетел с юго-востока на север, «взорвался с негромким хлопком» и погас [7, с. 201].

13. 1907 г., 1 декабря.

Нижегородская губ. При полете болида в воздухе слышался шум, а потом удар ([19, с. 160], Архив КМЕТ).

14. 1908 г., лето, конец дня.

Станция Тайга (ныне Кемеровская обл., г. Тайга). Наблюдатель А. П. Буховец (тогда 7 лет). Услышал волнообразный шорох, посмотрел на север и увидел каплевидное тело размером 30' цвета раскаленного железа. От него отлетали раскаленные космы и капли. За объектом тянулся дымовой след. Тело пролетело 60—70° и исчезло в дымке [7, с. 194].

15. 1912 г., март.

Забайкальская обл., Сретенский округ, р. Шилка, Ушумунская лесопилка. Наблюдатель В. Д. Чернышев. Слышал шум метеорита и удар его о землю [7, с. 200].

16. 1914 г., август, днем.

Молдавия, Слободзейский уезд. Наблюдатель С. А. Науменко. Небо осветилось белым с красным отливом светом. Одновременно послышались свист и треск (Архив КМЕТ).

17. 1916—1922 гг., лето, за полдень.

Приморская обл., Михайловский уезд, с. Осиповка. Наблюдатель Е. А. Кравцова. Услышала издали гул, который быстро нарастал. Потом загрело над головами и появился огненный шар величиной с Солнце, красного цвета. Полет происходил с запада на восток. После пролета болида остался тонкий след, расширяющийся к западу. После исчезновения шара еще некоторое время «гуркотало» [7, с. 197].

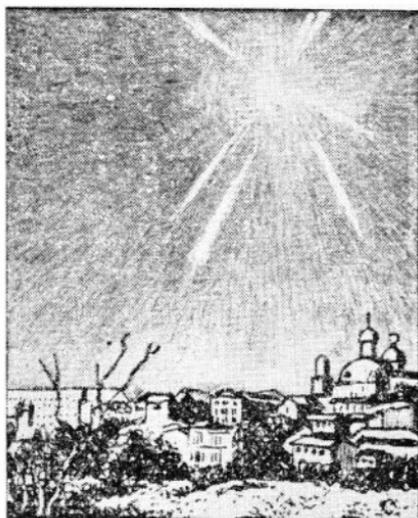


Рис. 4. Взрыв болида 30 января 1868 г. над Пултуском (по Е. Покшивницкому).

18. 1917 г., около августа, вечер.

Симбирская губ., Инзенский уезд, с. Коноплянка. Очевидец В. Ф. Лукин. Болид в виде беловато-седого облачка с перезкими очертаниями летел с севера на юго-запад. Наблюдалось 5—6 раз выделение множества белых искр. Было какое-то шуршание, когда ветер в лесу по верхушкам деревьев шумит или газета в руках издает звук. Явление продолжалось 6—7 с [7, с. 202].

19. 1918 г., 6 октября, 12 ч.

г. Саратов. Наблюдатель Д. Н. Акимов. При полете метеорита было слышно шипение.

г. Белогорск. Наблюдатель М. Г. Идобаева. Яркое пятно спустилось с неба, послышался треск, а позже гул.

г. Шияево. Наблюдатель Г. А. Ивагин. Слышал шум и видел на небе огненный хвост.

Полет болида закончился выпадением метеорита Саратов (Архив КМЕТ).

20. 1919 г., 7 апреля, под утро.

Тамбовская губ., Моршанский уезд, 25 км южнее Моршанска. Наблюдатель Е. Л. Кривов (тогда 13 лет). Болид зеленовато-желтого цвета летел с юга на восток в юго-юго-восточной части неба на высоте 15—20° под углом 10—15° к горизонту. Синхронно с искрением болида слышался сухой треск, как горящая лучина или сухое еловое дерево. Через 30—45 с раздался 2—3 удара (записано со слов Е. Л. Кривова 13 апреля 1982 г.).

21. 1923 г., январь, вечер.

Сибирский край, Красноярский уезд, с. Усть-Тунгусское. Наблюдатель К. В. Черкасов. На северо-востоке что-то блеснуло — низко над горизонтом, полого к нему летел шар. Уже у горизонта был виден взрыв с искрами. Во время полета раздавался звук, подобный грому, через 5—6 с после исчезновения болида — раскат [7, с. 195].

22. 1923 г., 21 июля.

Псковская губ. Звуки болида были похожи на стрекотанье стрекозы ([19, с. 160], Архив КМЕТ).

23. 1923 г., 5 ноября, 16 ч 30 мин.

Волховский уезд. Наблюдатель Б. Яновский видел быстро падающий к северу метеор красноватого цвета с длинным хвостом. Падение сопровождалось легким треском. Явление продолжалось около 15 с. В течение 15—20 мин после падения на пути метеора оставалась широкая серая полоса ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

24. 1923 г., 8 декабря, 17 ч 20 мин.

Петроградская губ., р. Нарва. Наблюдатель Т. Н. Гамов. Болид летел с ужасным шумом и треском [19, с. 161].

25. 1925 г., 23 февраля, 17 ч 04 мин.

Польна. Я. Людвинский наблюдал болид ярче Венеры и одновременно слышал звук. Болид оставил след [62].

26. 1925 г., 30 апреля, 19 ч 35 мин.

Московская губ. Шар диаметром около 12' с хвостом длиной 2°30'—3° в полете искрил и менял цвет с красного на зеленовато-го-

лубой. При полете был слышен легкий шум. Явление продолжалось около 1 мин ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

27. 1925 г., 25 мая, 11 ч.

Пермская губ. Болид «цвета красной меди» летел с запада на восток, издавая шум и треск ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

28. 1925 г., лето, 13 ч.

Северо-Кавказский край, Петровский р-н. Наблюдатель В. М. Кузьминов. Услышал сильный треск. Взглянув на небо, увидел светящуюся полосу, летящую с юга на север (Архив КМЕТ).

29. 1925 г., 24 сентября, 19 ч.

г. Повгород. Добела раскаленный шар пронесся на восток. При полете шар издавал резкий сухой треск [19, с. 161].

30. 1926—1927 гг., лето или ранняя осень, 21—22 ч.

Рязанская губ., Клепиковский р-н, с. Селезнево. Наблюдатель В. Т. Кондратьев. Огненный шар диаметром около 45' с длинным хвостом летел 25—30 с, потух, п через мгновение раздался взрыв (Архив КМЕТ).

31. 1928 г., 18 августа, вечер.

Сибирь. При полете болида было слышно легкос шипение [19, с. 161].

32. 1929 г.

Дальневосточный край, Читинский округ, с. Менза. Наблюдатели А. Я. Тарханов, А. Н. Тарханова. Болид «цвета радуги» летел по пологой траектории с северо-востока на юго-запад. При полете отделялись крупные искры и был слышен шипящий треск. Явление продолжалось 5—6 с. На небе остался синий след [7, с. 200].

33. 1929 г., 1 марта, 0 ч 20 мин.

Сибирский край, Омский округ, Седельниковский р-н. Болид появился на высоте 90 км, на высоте 35—25 км происходило искрение. Наклон атмосферной траектории 51°. Скорость 16,5 км/с. Цвет в полете переходил от голубоватого в желтый и красный. Наблюдатели из сел Хмелевка, Евгацино, Екатерининское, Тара слышали шум и грохот. О. Я. Маможинец из с. Егоровка услышала какой-то звук, а потом увидела яркий свет в окне. А. В. Преображенцева из с. Чередовка услышала, будто кто-то едет на санях, а затем избу осветило. Полет болида закончился выпадением метеорита Хмелевка (Архив КМЕТ).

34. 1930 г.

с. Остяко-Вогульск. Наблюдатель Ф. С. Баннов. Идя, услышал шум, оглянулся и увидел летящий за р. Иртыш шар, который «летел и ворочался», потому что воздух был «разный». С исчезновением шара прекратилось и шипение [7, письмо Ф. С. Баннова].

35. 1932 г., 2 февраля, 15 ч 20 мин.

г. Москва. При полете болида были слышны свистящие и шипящие звуки ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

36. 1932 г., 8 марта, 2 ч.

с. Самарово (на Иртыше). Наблюдатель Ю. Э. Певский. Полет болида сопровождался звуком ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

37. 1932 г., 26 мая, 10—11 ч.

Западно-Сибирский край, Татарский р-н, с. Кузнецово. Наблюдатели Н. А. Кузнецов, М. Иванова. Летел горящий камень, который ворочало в воздухе под свист и шум, похожий на шум голубиных крыльев. Полет болида закончился выпадением метеорита Кузнецово (Архив КМЕТ).

38. 1932 г., 17 июня, 18 ч.

г. Астрахань. Наблюдатель А. Петров. Болид был ярче Луны, с красноватым хвостом. Летел со звуком, похожим на звук летящей ракеты. Явление продолжалось 3 с ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

39. 1932 г., 20 августа, 18 ч 30 мин.

г. Москва. Наблюдатель Н. Н. Келюх. Болид зеленого цвета с хвостом летел, издавая резкие, пискливые звуки ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

40. 1932 г., 29 августа, около 22 ч.

Московская обл., Можайский р-н, д. Алексеевка. Наблюдатель М. П. Столяров. Падение болида зеленого цвета сопровождалось несильным треском ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

41. 1933 г., 10 июня, около 22 ч.

Проскуровский округ, Меджибожский р-н, с. Лисанивцы. Наблюдатель Л. Н. Омельчук. Когда метеорит летел, то гудел как реактивный самолет (письмо Л. Н. Омельчука).

42. 1933 г., 2 октября.

Урал. Звук полета болида был похож на шум летящих самолетов [19, с. 161].

43. 1933 г., 26 декабря, 14 ч 30 мин.

Владимирская губ., Юрьевский округ. Болид шарообразной формы с коротким хвостом вначале имел белый цвет, перешедший впоследствии в иссиня-зеленый, голубой и красный перед погасанием. Погас, распавшись на две группы.

г. Юрьев-Польский. Наблюдатель Н. Бородулин. Во время полета были слышны шум и треск.

пос. Заозерье. Наблюдатель А. Е. Анкудников. Сначала услышал шум, потом осветило комнату, потом опять шум, но сильнее.

Гидрометеостанция «Успенская ферма». При полете болида сотрудники станции слышали шипение.

г. Александров. Наблюдатель З. А. Жигалова: болид шумел в полете, «как угли тушат водой». Наблюдатель М. М. Гусева: болид летел с сильным шумом. Наблюдатель И. П. Шаханова: услышала шипение и свист и стало светло.

пос. Первомайский. Наблюдатели В. И. Гурин, И. Г. Гурин. Слушали радио. Вдруг комнату осветило и передача прервалась, но из динамика были слышны треск и удары. Наблюдатель Н. Ф. Морозов. Одновременно с появлением болида раздался треск в радиоприемнике.

г. Владимир. Наблюдатель Снегеев. Одновременно с пролетом метеора в городе потух свет (Архив КМЕТ).

44. 1934—1935 гг., ночью.

Латвия. Наблюдатель Е. А. Михайлов. Небо ярко осветилось и с шумом пролетел огненный шар (письмо Е. А. Михайлова).

45. 1934 г., 20 июня, 10 ч.

Северный край, Лешуконский р-н, д. Пулема. Наблюдатель Н. П. Листов. При падении округлого тела голубого цвета были слышны сильный треск и шум ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

46. 1935 г., 12 апреля, 10 ч.

Иркутская обл., Нижнеудинский р-н, прииск Хайламо. Наблюдатели И. Макаров, К. Макаров, М. Соболев. Падение болида сопровождалось сильным шумом и ветром. После пролета болида остался след ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

47. 1935 г., 25—30 мая, после захода Солнца.

Западно-Сибирский край, Убинский р-н, с. Ново-Дубровское. Наблюдатель Н. Е. Прибылов. С востока на запад под углом 15—20° к горизонту летело конусообразное бело-огненное тело с длинным светящимся хвостом. Слышался звук, похожий на глубокий вздох [7, с. 196].

48. 1935 г., 29 мая, 14 ч 30 мин.

Тамбовская обл., Никифоровский р-н, с. Сабурово. Наблюдатель Кукип. Болид был белого цвета с хвостом. При полете от него отделялись светлые искры и был слышен свист ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

49. 1935 г., 29 июля, 23 ч.

г. Орел. Наблюдатель С. Беляков. Огненный шар голубовато-белого цвета падал с треском. После полета в небе был виден красный след ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

50. 1935 г., 7 августа, 22 ч.

г. Одесса, обсерватория. Наблюдатели Р. Л. Дрейзин, Н. П. Санютин, В. Е. Штепан, Коган. Отбрасывая в зените искры, болид летел по Лебедю от 0 через ξ , далее по Лисичке, Стреле, Орлу. Яркость болида чуть слабее полной Луны. Падение сопровождалось шипением. Явление продолжалось 3 с. После падения наблюдался след +1^m ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

51. 1935 г., 5—6 октября.

Западно-Сибирский край, Каргатский р-н, д. Алабра. Наблюдатель Н. Н. Данилина. С востока послышался усиливающийся шум, как от самолета. В это время над горизонтом летело «огненное колесо с шлейфом дыма», которое скрылось на западе (письмо Н. Н. Данилиной от 30 апреля 1982 г.).

52. 1935 г., 5—6 ноября, около 10 ч.

Иркутская обл., прииск Монкросс. Наблюдатель Н. Н. Михалишин. Болид появился на юго-западе и летел на северо-восток, издавая сильный шум и оставляя дымное облако. Явление продолжалось 5—6 с [7, с. 193—194].

53. 1936 г., 26 марта, 14 ч 15 мин.

Красноярский край, Большемурутинский р-н. Наблюдатели Мазуровский, Пикулин, В. К. Добрынин. Болид летел, оставляя искры и след. При его появлении слышался некоторый шум ([19, с. 161; 7, с. 195], Архив КМЕТ).

54. 1936 г., 28 ноября, 18 ч.

Красноярский край, Туруханский р-н. На юго-востоке наблюдался сильно светящийся метеорит. При полете был слышен гул, как от самолетов ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

55. 1936—1937 гг., конец августа.

Черниговская обл., с. Станецкое. Наблюдатель П. Л. Масленков. Все осветилось ярким фиолетовым светом и послышался звук, напоминающий шипение или сброс пара на паровозе. Почувствовал запах и увидел летящий вертикально предмет (письмо П. Л. Масленкова от 2 августа 1982 г.).

56. 1935—1936 гг., лето, вечер.

Сталинградская обл., Ленинский р-н, с. Колобовка. Наблюдатель В. П. Ермолаев. Услышал резкое шипение, и одновременно возникло яркое освещение. По небу пролетела звезда овальной формы. Звук был, как если бы вылили ведро воды на раскаленный шлак. Испугались овцы (письмо В. П. Ермолаева 1982 г.).

57. 1937 г., январь — февраль, 17—18 ч.

г. Иркутск. Наблюдатель Г. А. Лучинин. Услышал сильное шипение, взглянул на небо и увидел падающее огненное тело, от которого отлетели искры (письмо Г. А. Лучинина от 15 апреля 1982 г.).

58. 1937 г., 9 января, 19 ч 03 мин.

Марийская АССР, д. Сталино. Наблюдатель М. Е. Иванов. Болид диаметром 1° летел с запада на юго-восток, были слышны шипение и свист. Явление продолжалось 5 с ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

59. 1937 г., 13 января, 19 ч.

Псковская обл., г. Гдов. Наблюдатель Г. В. Сорокин. Болид белого цвета падал вертикально вниз. Рассыпался на мелкие искры, издав звук, подобный треску молнии ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

60. 1937 г., 3 мая, 20 ч 25 мин.

г. Севастополь. Наблюдатель В. А. Якубович. Болид голубоватого цвета напоминал лампочку 1000 Вт. Летел с юго-запада на север со свистом ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

61. 1937 г., 5—10 мая.

Курская обл. Во время полета болида был слышен шум [19, с. 161].

62. 1937 г., 12 мая, 16 ч 45 мин.

Фрунзенская обл., с. Каптал-Арык. Наблюдатель А. Декамбаев. Огненный шар пронесся с юго-востока на северо-запад с шумом, напоминающим шум аэроплана, потом раздался гул.

с. Беловодское. Наблюдатель П. В. Пестеркин. Болид красного цвета с шумом аэроплана пролетел на запад, в полете искрил. Полет болида закончился выпадением метеорита Каптал-Арык (Архив КМЕТ).

63. 1937 г., 14 мая, 12 ч 10 мин.

Северный край, Чебсаренская обл., Чебарский р-н, гидрометеостанция «Шайма». Наблюдатель А. Ф. Беляев. Болид диаметром 8—10' летел с юга на юго-запад около 15 с. Во время полета были слышны свист и шипение. Цвет болида менялся с белого на сизый. Наблюдались искры ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

64. 1937 г., лето, полдень.

р. Вол. Наблюдатель П. А. Смирнов (тогда 12 лет). Болид в полете сильно шипел (Архив КМЕТ).

65. 1937—1938 гг., июнь.

Алтайский край, Ельцовский р-н, близ д. Салма. Наблюдатель С. А. Амиленчук. Болид двигался с северо-востока, производя сильный свист и оставляя черный длинный хвост. Пролетая над лесом, он раскачивал и гнул деревья. После падения чувствовалось сильное сотрясение почвы [7, с. 193].

66. 1937 г., июль — август.

Башкирская АССР, Чекагушевский р-н, с. Каран. Наблюдатель В. А. Асадулкип. Послышался нарастающий гул, с севера летело небольшое тело [7, с. 193].

67. 1937 г., июль — август, 9—10 ч.

Польша. Наблюдатель Ф. Рожицкий. Одновременно с полетом зеленого шара был слышен род шума [60, с. 241].

68. 1937 г., 5 августа, 13 ч.

Вологодская обл., Леденгский р-н. Наблюдатель И. М. Ворошилов. Болид золотистого цвета имел продолговатую головку и хвост. В полете издавал шипение ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

69. 1937 г., 12 декабря, 4 ч 32 мин.

Омская обл., Седельниковский р-н, Тарский округ. Наблюдатель Э. П. Миллер. Тело чуть больше Луны летело с юга на север. Цвет тела в полете менялся с красного на розовый. Был слышен слабый шум. Явление продолжалось 2 с. После пролета болида остался голубой след ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

70. 1938 г., 6 февраля, 22 ч 30 мин.

г. Тамбов. Наблюдатель Н. А. Беляев. Болид зеленовато-красного цвета летел с запада на северо-восток. В конце полета рассыпался. В начале полета были слышны свист и шипение, затем удары ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

71. 1938 г., 15 февраля.

Вологодская обл., Леденгский р-н. Наблюдатель И. М. Ворошилов. Метеор был настолько ярко, что на него было трудно смотреть. В полете издавал шипение ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

72. 1938 г., 28 июля, 6 ч 35 мин.

Оренбургская обл. Во время полета болида был слышен треск [19, с. 162].

73. 1938 г., 9 августа, 11 ч 15 мин.

Сталинская обл. При полете было слышно шипение [19, с. 162].

74. 1938 г., 8 октября, 23 ч.

Сталинская обл., Марьинский р-н, с. Пречистовка. Наблюдатель П. Л. Левковский. Болид имел форму шара немного больше Луны, цвета раскаленного железа. В конце полета наблюдался взрыв с образованием облачка. Во время полета был слышен слабый треск. Полет болида закончился выпадением метеорита Жовтневый Хутор (Архив КМЕТ).

75. 1940 г., 7 мая, вечер.

Алтайский край, Мамонтовский р-н, с. Борково. Наблюдатель С. Ф. Бекетов. Болид диаметром 30' летел с запада на восток. При

полете были слышны треск и шипение, как при коротком замыкании. Наклон видимой траектории $25-30^\circ$ [7, с. 193].

76. 1940—1941 гг., лето, 6—7 ч.

Татарская АССР, Муслимовский р-н, между селами Метреево и Ольгино. Наблюдатель В. П. Баранов. Вначале послышался сильный гул, как от близкого реактивного двигателя. Затем дом сильно затрясло. Сам метеорит привезли в школу (дальнейшая судьба неизвестна) [7, с. 197].

77. 1940 г., 15 августа, ~ 9 ч.

Архангельская обл. Перед падением было слышно шипение [19, с. 162].

78. 1940 г., 30 октября, 15 ч 32 мин.

Харьковская обл., Золочевский р-н. Наблюдатель А. Д. Голубятник. Болид был круглой формы, диаметром $30'$. Цвет в полете менял от красного к желтому и голубому. В полете было слышно шипение ([19, с. 161], Архив КМЕТ).

79. 1940 г., 29 ноября, 13 ч.

Архангельская обл., Онежский р-н, с. Пушлахта. Наблюдатель Н. И. Шишкунов. Болид зеленого цвета летел с северо-северо-запада на юго-юго-восток низко над горизонтом, слышался сильный шум ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

80. 1940 г., 16 декабря, 5 ч 32 мин.

Барановичская обл., г. Клецк. Наблюдатель Г. А. Лопушанский. Болид был желтого цвета, в полете искрился. Летел с юга на север. Одновременно с полетом были слышны шипение и завывание ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

81. 1940 г., 24 декабря, 3 ч.

Баскарачайский р-н, с. Семиярск. Наблюдатель Г. И. Надеждин. Болид красно-фиолетового цвета летел с юго-запада на северо-восток с высоты 65° до 10° над горизонтом. Явление продолжалось 2 с. При полете было слышно шипение ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

82. 1941 г., 8 апреля, 21 ч 30 мин.

Пермская обл. Звук был похож на шум, шипение и треск [19, с. 162].

83. 1941 г., 4 мая, 0 ч 30 мин.

Ст. Фрязево Дзержинской ж. д. Наблюдатель А. М. Кириллов. Болид диаметром $15'$ летел с юго-востока на северо-запад. При полете было слышно шипение ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

84. 1941 г., 9 мая, 20 ч 20 мин.

Карачаево-Черкесская автономная обл., Усть-Джегутинская гидрометеостанция. Наблюдатель И. П. Романов. Болид летел с востока на запад с незначительным присвистыванием. Цвет болида белый ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

85. 1941 г., 23 июня, 14 ч 55 мин.

Алтайский край, Знаменский р-н, с. Верх-Суетки. Наблюдатель Н. Сизько. Болид летел на северо-востоке с тихим посвистыванием ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

86. 1941 г., 12 июня, ночью.

Московская обл., с. Малаховка. Полет болида сопровождался

треском. После пролета болида на небе остался длинный след ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

87. 1942—1943 гг., январь — февраль, вечер.

Курская обл., Кореневский р-н, с. Вишневка. Наблюдатель В. Усенко. Пролетел огненный шар необыкновенной силы света. Были гром, свет, дым (Архив КМЕТ).

88. 1942 г., 9 марта, 10 ч 45 мин.

Хабаровский край, Амурский р-н, ст. Братолюбовка. Наблюдатель Зинкевич. Отвесно из зенита, искря, летел болид. В полете цвет менялся от ярко-белого к красному. Падение сопровождалось шумом самолета, летящего с выключенным мотором, а также треском и шипением. После пролета болида остался белый след ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

89. 1942 г., 30 декабря, 10 ч 10 мин.

Бурят-Монгольская АССР, Еравнинский р-н, с. Романовка. Наблюдатель А. И. Самойлова. Шар величиной с Луну голубого цвета распался в полете на 3 части красного цвета. При полете было слышно слабое шипение ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

90. 1943 г., 4—5 сентября, под вечер.

Тюменская обл., Сургутский р-н, с. Банное. Наблюдатель В. А. Глухих. Болид летел с запада на восток, издавая звук, будто летит мина [7, с. 198].

91. 1944 г., ранняя весна, вечер.

Польша. С блеском и шумом пролетел метеор [63, с. 205].

92. 1944 г., 15 мая, 8 ч 30 мин.

Красноярский край, Тухтетский р-н, д. Ириновка. Наблюдатели Ф. П. Малашенко, Н. А. Якиманский. Болид диаметром с Солнце летел около 10 с, издавая гул, похожий на гул самолета, и треск, похожий на треск спиленных и падающих сосен ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

93. 1944 г., июнь, ночью.

г. Курган. Наблюдатель Болотова. Огромный светящийся шар летел с юго-востока на северо-запад. Шар имел небольшие шлейфы. Отчетливо слышалось потрескивание, как при электрическом замыкании. Явление продолжалось 15 с. После этого был шум, напоминающий выдох (письмо Болотовой от 15 марта 1982 г.).

94. 1945 г., 8 мая, 12 ч.

Приморский край, пос. Усть-Омчуг. Наблюдатель М. Г. Котов. При полете шарообразного тела был слышен звук, похожий на звук высоко гудящих самолетов ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

95. 1945 г., 19 июня, вечер.

Омская обл., г. Исилькуль. Наблюдатель В. С. Гребенников. На юго-востоке невысоко над горизонтом болид размытых очертаний с видимым угловым диаметром 5—7' пролетел по дугообразной траектории длиной 3—5°. Во время полета издавал звук, напоминающий мяуканье, понижающийся по тону. Звук был похож, как если бы провести ногтем по толстой струне с замедлением [7, с. 196—197].

96. 1946 г., 21 января, 16 ч.

Над Одесской, Кировоградской и Николаевской областями с северо-запада на юго-восток пролетел яркий болид. Он напоминал шар

диаметром около 30', освещающий местность возрастающим по яркости фиолетовым светом. За болидом тянулись хвост и искры. В конце полета он дал ослепительную вспышку. Перед вспышкой ряд очевидцев слышал звуки, напоминающие гудение самолетов и свист снарядов. Через несколько минут после вспышки послышались взрыв и раскаты грома. Полет болида закончился выпадением метеорита Крымка (письмо Р. Л. Дрейзина).

97. 1946 г., 4 апреля, 22 ч.

Ростовская обл., г. Морозовск. Наблюдатель П. В. Крылов. Полет круглого ярко-красного тела продолжался 10 с. В начале полета было слышно шипение. После полета остался белый след. ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

98. 1946—1947 гг., лето, 17 ч.

Белгородская обл., Яковлевский р-н, с. Шонино. Наблюдатель Н. В. Троценко. Послышался сильный шум с северо-востока. Повернувшись, увидел огненный шар, летящий прямо на него (Архив КМЕТ).

99. 1946., 24 августа, 17 ч 43 мин.

Днепропетровская обл., Никопольский р-н, с. Богдановка. Наблюдатель Ф. В. Озерчук. Болид летел с севера на запад около 1 с. В начале полета был слышен свист, потом шипение. После пролета болида остался широкий след ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

100. 1947 г., 6 апреля, 9 ч.

Приморский край, Тернейский р-н, между селами Ахобе и Самарта. Наблюдатель М. Старцев. Болид летел с севера на юг. В полете слышались шуршание и треск ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

101. 1947 г., май — июнь, около 7 ч.

Красноярский край, Манский р-н, пос. Кобрик. Наблюдатель В. В. Черкашина-Лифунша. Услышала шипение или звук, похожий на «треск разрываемого полотна», затем увидела пригибаемый «сильной волной» молодой сосняк [7, с. 195].

102. 1948 г., начало января, рано утром.

Челябинская обл., пос. Татыш. Наблюдатель Н. А. Иванов. Белый с зеленоватым ореолом болид имел темный хвост и сыпал оранжевыми искрами. Искрение сопровождалось сильным шумом и треском [7, с. 199].

103. 1948 г., 6 марта, 17 ч.

Мурманская обл., д. Ковда. Наблюдатель М. Е. Ильин. Болид летел с востока на запад около 5 с. При полете был слышен свист ([19, с. 162], Архив КМЕТ).

104. 1948 г., 10 марта, 17 ч.

Челябинская обл., Колхозный р-н, с. Уйское. Наблюдатель В. И. Шаркевич. Болид летел с юго-запада на северо-восток 6—8 с. в полете дробился и издавал шипение ([19, с. 163], Архив КМЕТ).

105. 1948 г., 16 марта, 12 ч 55 мин.

Новосибирская обл., Карасукский р-н, с. Студеное. Наблюдатель И. В. Мартыко. Болид летел рывком с запада на северо-восток, издавая шипение. После пролета болида остался прямой след ([19, с. 163], Архив КМЕТ).

106. 1948 г., 17 сентября, 23 ч 15 мин.

Харьковская обл. Искры от болида отлетали с шипением и потрескиванием [19, с. 163].

107. 1948 г., 28 сентября.

г. Симферополь. Через 5 с после взрыва болида раздался треск [19, с. 163].

108. 1948 г., 21 октября, 18 ч 45 мин.

Крымская обл., гидрометеостанция Пиколаев. Наблюдатели Грушинский, Фомина, Щербак. Болид красного цвета с хвостом летел с востока на запад. В полете дробился и издавал слабое шипение. Явление продолжалось 7 с ([19, с. 163], Архив КМЕТ).

109. 1948 г., 22 ноября, 18 ч 15 мин.

Крымская обл. Наблюдатели К. А. Любарский, П. Ф. Чугайков. Звездообразный болид (-8^m) голубовато-белого цвета пролетел по небу путь 31° с высоты 42° , азимута 312° до высоты 17° , азимута 290° . При полете издавал шипение. После пролета болида около 1 с наблюдался след. Явление продолжалось 1,5 с ([19, с. 163], Архив КМЕТ).

110. 1948—1949 гг., октябрь, 15—16 ч.

Винницкая обл., Тайсинский р-н. Наблюдатель Б. В. Иванченко (тогда 11 лет). Послышался шипящий звук с тарахтением. Посмотрев вверх, увидел блестящее яйцообразное тело, летевшее с запада на юго-восток (письмо Б. В. Иванченко от 3 мая 1982 г.).

111. 1949 г., лето, ночь.

Красноярский край, Новоселовский р-н, с. Первомайское. Наблюдатель В. В. Лисьих. Яркий, очень медленный болид с хвостом, издавая шипящий звук, пролетел под углом $35-40^\circ$ к горизонту в направлении гор Изых и Березовая, скрывшись за горизонтом [7, с. 195].

112. 1949 г., 11 июня, 3 ч 14 мин.

Челябинская и Свердловская обл. Болид диаметром 25' с хвостом длиной 30' менял в полете цвет с бело-желтого на оранжево-красный. Перед погасанием распался на искры. После пролета болида остался след в виде узкой прямолинейной полоски. Скорость перед входом в атмосферу 16,6 км/с. Явление продолжалось 5 с. Пятеро наблюдателей из Челябинской обл. (пос. Миньяр, Долматово, Хлындово, Рухтино, г. Троицк) отмечали во время полета шипение, сравниваемое с шипением раскаленного металла, опущенного в воду, и легкое потрескивание. Двое очевидцев из Свердловской обл. (г. Сысерть и Свердловск) слышали слабое шуршание со свистом (Архив КМЕТ).

113. 1949 г., 9 июля, 16 ч 33 мин.

ТуркмССР. Полотанский р-н. Внимание наблюдателя привлек звук, а затем свист. Звук шел из направления на болид и был слышен одновременно с его полетом. Звук папоминал треск берданки. Болид был ярче Луны [36, с. 96].

114. 1949 г., 6 сентября, 13 ч 28 мин.

Ульяновская обл., с. Аппенково. Наблюдатель В. Игнатьев. Болид летел с высоты 75° на юго-востоке и погас на высоте 60°

на северо-западе. При полете был шум. После пролета болида остался белый след. Явление продолжалось 5 с ([19, с. 163], Архив КМЕТ).

115. 1950 г., 19 января, 19 ч 30 мин.

Башкирская АССР, г. Октябрьский. Наблюдатель Л. Я. Епикеева. С северо-востока на запад летело с шипением «сине-красное пламя» (Архив КМЕТ).

116. 1950 г., середина мая, 6—7 ч.

Эвенкийский нац. окр., пос. Полигус. Наблюдатель Н. С. Лазуткина. Послышался «раздирающий уши» гул, задрезжали окна, сотрясались стены. Через 3 мин показался яркий предмет цвета пламени костра, летящий с востока на запад со снижением, оставив черный дымный след в форме шпалы [7, с. 195].

117. 1950 г., июль, 21 ч.

Челябинская обл., Каслинский р-н, с. Огневское. Наблюдатель В. Н. Первушин. Вдруг услышал шипящий свист. Местность озарилась, и он увидел на небе светящуюся полосу. И тут же — глухой удар [7, с. 199—200].

118. 1950 г., 11 октября, 11 ч.

12 наблюдателей из разных пунктов Новосибирской обл., один — из Омской и один — из Томской отмечали, что в полете болид издавал звук. Одни характеризовали его как металлический (свист снаряда, звук падающего самолета, жужжание или треск), другие отмечали шипение пара, выходящего из чайника, шуршание платья, шум сдуваемой резиновой камеры. Полет болида закончился выпадением метеорита Венгерова (Архив КМЕТ).

119. 1950 г., 31 октября, вечер.

Рязанская обл. От болида были слышны треск и свист [19, с. 163].

120. 1951 г., 29 августа, 19 ч 45 мин.

Польша, Ойцув, Б. Луска. Наблюдатель Л. Лишка. Болид желто-зеленого цвета (-4^m). Казалось, что слышала шипение, как при пуске бенгальских ракет [60, с. 242—243].

121. 1951 г., 7 сентября, 16 ч.

Московская обл., с. Мелихово. Наблюдатель Корнюшин. Болид синеватого оттенка летел с северо-северо-востока на юго-восток под углом $25-30^\circ$ к горизонту. Имел капельную форму. Во время полета слышал звук, напоминающий шелест листьев или потрескивание сухой еловой хвои. После пролета болида остался след ([19, с. 163], Архив КМЕТ).

122. 1951 г., вторая половина сентября, 8—9 ч.

Новосибирская обл., Чистоозерный р-н. Наблюдатель Г. И. Клоповских. Услышал звук падающей бомбы и увидел яркую полосу, тянущуюся на север [7, с. 196].

123. 1951 г., 17 октября, 13 ч 30 мин.

Сталинская обл., 11 км южнее пос. Еленовка. Был слышен шум, как от самолета, потом выстрелы и снова гул. В радиоприемнике слышались разряды, как в грозу. Полет болида закончился выпадением метеорита Еленовка [33].

124. 1951 г., 20 октября, 12 ч 30 мин.

Калмыцкая АССР, с. Ик-Бурул. Наблюдатели слышали звуки летящего самолета, шум и треск.

с. Сотниковское. Наблюдатель Ф. Я. Калинин. Услышал шум летящего самолета, затем два выстрела. После выстрелов шум стал металлическим, будто шумят ижестью. Наблюдатель Н. Заборин перед падением камня слышал шипение. Наблюдатель М. П. Капустян слышала свист, напоминающий свист мины. Полет болида закончился выпадением метеорита Маныч (Архив КМЕТ).

125. 1951 г., 8 ноября, 17 ч 13 мин.

Польша, Демблин-Ирена. Болид (-5^m). В момент пролета болида было слышно шипение [60].

126. 1952—1953 гг., весной, перед закатом.

Кемеровская обл., Анжеро-Судженский р-н, между поселками Маяк и Подсобное Хозяйство. Наблюдатель В. К. Колпиков. С северо-востока на него летел огненный шар с темным дымным хвостом, с шипением, чуть красноватый [7, с. 194—195].

127. 1952 г., 14 марта.

АзССР, Каратолинская гидрометеостанция. При полете было слышно легкое шуршание [31].

128. 1952 г., 14 марта, 14 ч 45 мин.

КазССР, Карагандинская гидрометеостанция. Наблюдатель И. Е. Бобров. Болид голубого цвета падал с северо-запада на восток с легким шуршанием. Полет закончился взрывом, звуки которого были слышны несколько позже (Архив КМЕТ).

129. 1952 г., 18 марта, 2 ч 45 мин.

Смоленская обл. Болид диаметром 30' летел с высоты 45° над северо-востоком. Погас на высоте $30-35^\circ$ над югом. Свет от болида был аналогичен дневному. Явление продолжалось 5—10 с. После пролета (через 2 мин) раздались удары. Наблюдался след.

г. Ново-Борисов. Наблюдатели Карнаухов, Браун, Бровченко. Болид летел с легким треском.

д. Ефремово. Наблюдатель П. Д. Кузнецов. Болид пролетел «с каким-то шипением».

с. Липецы. Наблюдатель И. А. Шмаков. При полете происходило шипение с треском (Архив КМЕТ).

130. 1952 г., 24 мая, 15 ч 23 мин.

Читинская обл., гидрометеостанция Артеушка. Наблюдатель Жатов. Болид летел с севера на юго-запад в виде огненной полосы белого цвета, из которой брызгали искры. На земле был шум, будто в лесу при ветре шумят вершины деревьев (Архив КМЕТ).

131. 1952 г., лето, днем.

Псковская обл. Наблюдатель О. А. Черкас. Послышался нарастающий свист, что-то затрещало и шлепнуло (письмо О. А. Черкас).

132. 1952 г., 4 июня, 17 ч 50 мин.

Ростовская обл., Орловский р-н, хутор Островянка. Наблюдатель М. А. Степанько. Болид желтоватого цвета летел с северо-северо-запада на юго-восток. Был небольшой шум, вроде шума лопастей ветряной мельницы. Явление продолжалось 15—18 с (Архив КМЕТ).

133. 1952 г., ночь, около 15 ч.

Марыйская обл., ст. Сары-Ярды. Наблюдатель Лысенков (тогда 13 лет). Болид цвета электросварки диаметром 10' с хвостом длиной 3° летел с высоты 19—20°. Полет закончился вспышкой на высоте 4—5°. Во время полета был слышен шум, будто лезешь по камышам. Через 5—6 с после пролета болида послышался отдаленный взрыв. После пролета болида остался белый след (Архив КМЕТ).

134. 1952 г., 13 июля, 17 ч 54 мин.

14 очевидцев из г. Новосаперск Воронежской обл., Урюпинска и Серафимовича Волгоградской обл. слышали в момент движения болида аномальные звуки. Болид летел под углом 15° к горизонту. Высота точки погасания 16,5 км [34].

135. 1952 г., 23 августа, 16 ч 35 мин.

Тамбовская обл., Ракшинский р-н, с. Александровка. Наблюдатель А. И. Суровикин. К юго-западу от с. Александровка летел шар, двигавшийся с шипением. В конце полета шар рассыпался (Архив КМЕТ).

136. 1952 г., 29 сентября, 17 ч 46 мин.

Приморский край, Лазовский р-н. А. К. Карчевский на севере наблюдал падение метеорита красного цвета, сопровождавшееся ярким шипением, был отчетливо слышен свист (Архив КМЕТ).

137. 1953 г., 16 января, 15 ч 55 мин.

Ульяновская обл., Пензенская обл. и Мордовская АССР. Болид имел ядро диаметром 15' и хвост белого цвета. Полет продолжался 20—25 с.

Ульяновская обл., пос. Глотовка. Наблюдатели К. Ф. Сулковский, Петцольд, И. А. Юдин. В полете отмечено шипение с треском и шуршание, как при горении целлулоида.

Ульяновская обл., д. Куроедово. Наблюдатель К. И. Трофимов. При падении болид издавал клеток и шуршание.

Мордовская АССР, Рузаевский р-н, с. Стрелецко-Слободское. Наблюдатель услышал сильный шум. Когда поднял голову, то увидел огненный шар.

Мордовская АССР, Дубенский р-н, с. Морга. Наблюдатель Д. К. Герасимов. Перед концом полета слышалось шипение.

Пензенская обл., Кондальская гидрометеостанция. Наблюдатель А. А. Гурова. Во время полета легкое шуршание.

Пензенская обл., с. Николо-Петровское. Наблюдатель Саприн. Раздался треск, и хвост болида вытянулся (Архив КМЕТ).

138. 1953 г., 10 апреля, 20 ч 30 мин.

Свердловская обл., с. Пальмено. Наблюдатель Романова. Полет болида происходил почти параллельно горизонту с юго-востока на юго-запад. Ядро болида черное с красным обрамлением, хвост белый. В полете гудел (Архив КМЕТ).

139. 1953—1954 гг., май.

Карельская АССР, Пудожский р-н. Наблюдатель Н. М. Мурманский. Услышал резко возрастающий гул, как от двигателя машины, затем увидел, как метеорит упал в озеро (Архив КМЕТ).

140. 1953 г., 4 июня, 20 ч 20 мин.

Пензенская обл., г. Студенка. Наблюдатель Цппиватов. Болид красного цвета летел с севера на юг, издавая слабое шипение (Архив КМЕТ).

141. 1953 г., 8 августа, 18 ч.

В Ростове-на-Дону и Новочеркасске наблюдался яркий болид, летевший с шумом [20, с. 1].

142. 1953 г., 10 августа, 17 ч.

Воронежская обл., с. Старая Криуша. Наблюдатель В. М. Калининчев. Болид цвета керосиновой лампы, овальной формы и с длинным хвостом летел со свистом. Явление продолжалось 3—4 с (Архив КМЕТ).

143. 1953 г., 27 декабря, 8 ч 59 мин.

Сахалинская обл. Болид белого цвета с синеватым оттенком летел с востока на запад. Явление продолжалось около 3 с.

г. Томарп. Наблюдатель Амбратевич. Во время полета был слышен очень сильный шипящий звук (Архив КМЕТ).

144. 1954 г., январь, около 16 ч.

Свердловская обл., г. Ревда. Наблюдатель И. И. Шабалов. Болид цвета электросварки падал с севера на юг с шипением. После пролета болида остался сине-зеленый след (Архив КМЕТ).

145. 1954 г., середина января, 20 ч.

Пензенская обл., поселки Кевдо-Вершина и Вязовка. Наблюдатель А. П. Смагин. Болид цвета электросварки с коротким шлейфом летел с севера на юг, ярко освещая местность. В конце полета покраснел и, резко изменив траекторию, упал в лес. Слышались шипение в снегу, шум и треск поломанных веток [7, с. 201—202].

146. 1954 г., 6 марта.

Московская обл. Болид имел шарообразную голову желтоватого цвета и короткий хвост. Полет сопровождался искрением. Скорость болида в полете изменялась от 18 до 4 км/с. Явление продолжалось 5 с.

Клинский р-н, д. Давыдково. Падение сопровождалось сильным шипением.

Клинский р-н, д. Мишиново. Метеор летел с шумом, слегка потрескивая.

Полет болида закончился выпадением метеорита Никольское [12].

147. 1954 г., 14 мая, 18 ч.

Пермская обл., г. Красновишерск. Наблюдался болид диаметром 30', сначала белого, а в конце пути красного цвета. Во время полета слышался шипящий звук. Полет закончился распадом болида. Явление продолжалось 4—5 с (Архив КМЕТ).

148. 1954 г., 30 июня, 10 ч 26 мин.

На территории УССР и БССР наблюдался полет яркого болида (—15^m) с головой диаметром 6' и с хвостом длиной 25—30'.

БССР, д. Чемерисы. Наблюдатель В. К. Седых. Болид летел с шипением, наподобие шипения бенгальского огня, затем замедлил ход и погас. Тут же послышался глухой треск.

г. Сумы. Наблюдатель Ю. К. Гулак, А. Ф. Скоробогатько. Полет сопровождался нарастающими шипящими и потрескивающими звуками, слышимость которых прекратилась через 1 с после исчезновения болида (Архив КМЕТ).

149. 1954 г., июль, 16—17 ч.

Сталинградская обл., Подтелковский р-н, с. Федосеевка. Наблюдатель Н. Г. Люшин. Огненный шар летел, издавая шипящий звук. За ним тянулась большая красная дорожка [7, с. 200].

150. 1954 г., июль, 15 ч.

Хабаровский край, пос. Перебоевка, оз. Кизи. Наблюдатель В. В. Бордун. Низко над тайгой заиглась звезда, пронеслась по небу, рассыпая искры, оставляя хвост и освещая все вокруг. Болид распался на две части. Полет сопровождался сильным шумом, будто пикировала большая стая птиц. Явление продолжалось 10—13 с [7, с. 199].

151. 1954 г., 13 июля, 8 ч.

Белгородская обл., г. Волунки. Наблюдатель Старокожев. Болид представлял собой ядро цвета электросварки, разбрасывающее искры, и беловатый хвост. Наблюдатель услышал шум, наподобие реактивного самолета, поднял голову и увидел болид, летящий с востока на запад. Явление продолжалось 10—15 с (Архив КМЕТ).

152. 1954 г., 30 июля, 21 ч.

Гомельское шоссе, 12 км от Могилева. Наблюдался полет шара диаметром 3—4' желтого цвета с хвостом. Во время полета хвост изменял цвет с малинового на зеленый и синий. Были слышны шум и шипение. Полет болида закончился его распадом. Явление продолжалось около 1 мин. Болид летел с высоты 60—70° на западе и закончил полет на высоте 5—10° на востоке (Архив КМЕТ).

153. 1954 г., 13 августа, 17 ч 30 мин.

г. Новосибирск, Кировский р-н. Наблюдатель В. В. Мыслицкий. Желтое тело грушевидной формы летело с востока на запад. При падении звук напоминал потрескивание лучины (Архив КМЕТ).

154. 1954 г., сентябрь.

оз. Иссык-Куль. Наблюдатель услышал над головой шум, как от электросварки, и увидел летящее продолговатое тело с искрами во все стороны (Архив КМЕТ).

155. 1954 г., 6 сентября, 22 ч 15 мин.

Московская обл., г. Мытищи, 3 км севернее города. Наблюдатель А. И. Алексеев. Тело каплевидной формы красного оттенка летело с гулом и рокотом, воздух вибрировал, болид неоднократно вспыхивал (Архив КМЕТ).

156. 1954 г., 11 сентября, 24 ч.

Аргентина. После сильного блеска и звука, напоминающего шторм с градом, выпали многочисленные метеориты. Полет болида закончился выпадением метеорита Арбол Соло [26, с. 5—6].

157. 1955 г., 2 сентября, 12 ч 45 мин.

Киевская обл., с. Звонковое. Наблюдатель М. М. Горбач. Сначала услышал шумящий звук, через некоторое время 2—3 удара и свистящий звук падающего тела. Полет болида закончился выпадением метеорита Звонковое [21, с. 1].

158. 1955 г., 9 ноября, 2 ч 45 мин.

Сталинская обл., пос. Алексеевка. Наблюдатель Н. К. Чижиков. Услышал звук, напоминающий шелест сухих листьев, и сразу увидел болид диаметром 30' желтого цвета, двигавшийся с запада на восток. Явление продолжалось 8 с. После пролета болида оставшийся след наблюдался 2 мин (Архив КМЕТ).

159. 1955 г., 10 ноября, 21 ч.

Смоленская обл., Дорогобужский р-н, Балакиревский сельсовет. Наблюдатель М. П. Старовойтов. При полете болида красного цвета доносился шелест, подобный шелесту листьев. После пролета болида остался коричневый след (Архив КМЕТ).

160. 1955 г., 11 ноября, 10 ч 10 мин.

В Восточной Сибири над поселками Усть-Порт, Малая Хета, Караул и другими наблюдался полет болида сначала белого, а потом красного цвета от азимута 30° и высоты 19° над горизонтом до азимута 202° и высоты 8° над горизонтом. Болид имел непротяженный хвост и искрился. Явление продолжалось 2,5 с.

пос. Усть-Порт. Наблюдатель А. И. Иордан. Во время полета болида слышал шипящие звуки. Наблюдатель Майзингер. Болид издавал небольшой шум.

о-в. Белый. Наблюдатель А. Ф. Осипов. При полете болид издавал звуки, подобные «гавканью» и «уханью».

пос. Малая Хета. Наблюдатель Е. Е. Егоров. Во время полета болида слышал шипение (Архив КМЕТ).

161. 1955 г., 22 ноября, 19 ч 55 мин.

Кировская обл., г. Уржум. Наблюдатель Е. П. Замятин. С северо-северо-запада на юго-юго-восток летел болид грушевидной формы 35' в поперечнике. Создавал ослепительное зеленоватое освещение. Во время полета были слышны шорох и шипение, как при разминании папиросы (Архив КМЕТ).

162. 1956 г., 7 января, 18 ч 53 мин.

г. Куйбышев. Наблюдатели В. Кутузов, К. Кутузов. Болид цвета сварки искрил синими искрами, мигал, продвигаясь с азимута 78° и высоты 68° до азимута 7° и высоты 7° . Диаметр головы 24', а длина хвоста $1^\circ 36'$. Во время полета вдалеке слышались завывание и треск (Архив КМЕТ).

163. 1956 г., 13 января, 14 ч 38 мин.

Красноярский край, Тасеевский р-н, с. Сухово. Наблюдатель И. Колодин. Болид с головой диаметром 15' и хвостом длиной $2^\circ 30' - 3^\circ$ летел с высоты 63° на северо-востоке до высоты 7° на северо-западе. Слышался глухой мощный, временами с треском, звук, который исходил от земли. Явление продолжалось 6—7 с (Архив КМЕТ).

164. 1956 г., февраль, 13 ч.

Красноярский край, г. Игарка. Наблюдатель В. Е. Рацько. Услышал шипящий звук и увидел светящуюся растущую полосу, которая раскололась на 2 следа, изменив звук, и погасла, не долетев до земли. Длина видимой траектории 20— 30° . Наклон к горизонту 40— 60° . Ширина следа 0,2— $0,3^\circ$ (письмо В. Е. Рацько от 12 апреля 1984 г.).

165. 1956 г., 1 февраля, 3 ч 30 мин.

Средний Урал. Во многих местах наблюдатели отмечают шипение, шорох, треск, слабый или подобный грому шум, свист одновременные с полетом болида. Через 1,5—4 мин — гром, грохот, удары и т. п. [11].

166. 1956 г., 4 февраля, 23 ч.

г. Баку. Наблюдатели Ю. С. Хромыхин, Д. А. Шариев. Болид красного цвета летел с востока на запад с шипением и свистом. В полете дробился. После пролета болида 1 мин наблюдался красный след. Полет болида длился 1,5 с (Архив КМЕТ).

167. 1956 г., 8 февраля, 20 ч 10 мин.

Якутская АССР, Жиганский р-н. Наблюдался очень яркий болид в течение 5 с. Оставил след.

с. Жиганск. Наблюдатели Е. И. Сотников, Т. Т. Аполонов, Н. Сергеев. Сначала послышался гул, затем возник свет.

пос. Кыстатем. Наблюдатель С. П. Дьячковский. Проснулся от гула, как от сильно топящейся печки, после чего возник очень яркий свет, ярче лунного. Наблюдатель И. А. Федотов. Слышал равномерный громовой звук, а потом трескучий звук (Архив КМЕТ).

168. 1956 г., 11 февраля, 17 ч 10 мин.

Пермская обл., г. Верещагино. Наблюдатели П. И. Пинаев, Е. И. Казаринова, Л. С. Тиунова. Болид ярче полной Луны светлоголубого цвета при полете издавал шипение. Диаметр головы 20'. Летел от высоты 38° на северо-северо-запад до высоты 29° над юго-юго-западом. После пролета болида остался серебристый след, наблюдавшийся 10 с (Архив КМЕТ).

169. 1956 г., 25 марта, 18 ч 18 мин.

г. Москва. Наблюдатели отмечают полет в направлении с запада на юго-запад под углом 30° к горизонту шара диаметром 15', сначала желтого, а в конце полета красного цвета, светящего ярче Луны. После пролета болида остался след. Полет болида продолжался 1,5 с.

Наблюдатель В. А. Пушкин. В конце полета слышался треск, в 3 раза громче винтовочного выстрела (Архив КМЕТ).

170. 1956 г., 23 апреля, 16 ч 50 мин.

г. Астрахань. Шарообразный болид появился на юго-юго-востоке и погас, распавшись на высоте 20° над северо-северо-западом. Явление продолжалось 30—40 с.

Наблюдатель В. И. Рябус. Болид, пролетая, издавал шум и треск (Архив КМЕТ).

171. 1956 г., 28 мая, 16 ч.

Анжиганская обл., пос. Сталинск. Наблюдатель Р. У. Ахунов (тогда 15 лет). Шар желтоватого цвета летел с сильным искрением. При полете слышался слабый гул. После пролета болида был виден белый след (Архив КМЕТ).

172. 1956 г., 4 июля, 15 ч 45 мин.

Свердловская обл., д. Портах. Наблюдатели А. А. Брыкин, М. Ф. Денисов, Ф. Е. Денисов, С. А. Еремеев. Болид бело-зеленого цвета летел с искрением с запада на восток. Диаметр головы 5',

длина хвоста 30'. При появлении болида слышалось шипение, громко лаяли собаки. Полет продолжался 8 с (Архив КМЕТ).

173. 1956 г., 11 августа, 20 ч.

г. Могилев. Наблюдатель В. С. Чудаков. Болид появился в зените и летел на юго-запад под углом 65—80° к горизонту. Цвет болида звездообразной формы менялся от желтого к синему. В полете искрил и издавал шипящий звук, наподобие треска от статического заряда (Архив КМЕТ).

174. 1956 г., 11 августа, 14 ч 40 мин.

ФРГ. При падении были слышны звуки, подобные звуку локомотива, выпускающего пар. Полет болида закончился выпадением метеорита Брейтшейд [22].

175. 1957 г., 9 января.

Над Чехословакией наблюдался «яркий детоппрующий метеор», летевший в сторону Польши [65].

176. 1957 г., 27 января.

Горьковская обл., Танцаевский р-н. Наблюдатель А. Т. Задорожный. Огненный шар диаметром 8' слабее Луны летел через созвездия Орион, Телец, Возничий. Слышался шум, как от летящей ракеты, фейерверка (Архив КМЕТ).

177. 1957 г., 6 февраля, 18 ч 30 мин.

Татарская АССР, Ютазинский (ныне Бавлинский) р-н, пос. Уруссу. Наблюдатель Н. И. Богатов. Шар диаметром 30' цвета электросварки создавал освещение, как от фар автомобиля, и имел хвост из множества искр. До появления болида и во время его полета был слышен треск с шипением. Наблюдение велось через облака (Архив КМЕТ).

178. 1957 г., 11 февраля, 14 ч 35 мин.

Кабардино-Балкарская АССР, Майский р-н, ст. Александровская. Наблюдатель В. Д. Квитко. Болид представлял собой ядро синеватого цвета с бесформенным хвостом, освещавшее местность, как в полнолуние, и разбрасывающее искры. В полете с востока на запад наблюдалась вспышка. Болид издавал шипение, как от раскаленного железа в воде, наиболее сильно шипел во время вспышки. После пролета болида 2,5 мин наблюдался след (Архив КМЕТ).

179. 1957 г., 24 февраля, 17 ч 45 мин.

Тамбовская обл., Моршанский р-н, с. Новое Устье. Наблюдатель Ф. А. Блохин. Болид цвета электросварки, похожий на лампочку 300 Вт, летел с северо-востока на юго-запад. Не долетев до земли, рассыпался. Слышался треск наподобие треска горящих осиновых дров (Архив КМЕТ).

180. 1957 г., лето, вечер.

Тувинская АССР, Каа-Хемский р-н, с. Бояровка. Наблюдатель Н. П. Кудрявцева. Огненный шар, разбрасывая искры, упал в Енисей. Полет сопровождался шумом и шипением (Архив КМЕТ).

181. 1957 г., 15 июля.

Япония. Вблизи г. Хокуку с оглушительным свистом на землю упал огненный шар [57].

182. 1957 г., 6 декабря, 11 ч 26 мин.

ФРГ. Были слышны звуки, сравнимые с шумомдуша, шелестом, сильным треском. После пролета болида наблюдался след в виде двух полос. Через 3 мин после пролета болида раздался гром, взрывы [41].

183. 1957 г., 13 декабря, 6 ч 05 мин.

Польша, г. Кудов. Наблюдатель В. Пытлик (тогда школьница). Увидела свет, обернулась и увидела полет огненного шара, услышала шум и заметила «фонтанную детонацию» [60, с. 246].

184. 1958—1960 гг., зима, поздний вечер.

Омская обл., г. Исилькуль. Наблюдатель В. С. Гребенников. В зените услышал громкий звук, похожий на неровный треск распарываемой или разрываемой ткани, с чуть металлическим тембром. В районе зенита с северо-запада на юго-восток быстро летел болид белого цвета (-4^m) с искрами. Длина видимой траектории полета $40-60^\circ$ [7, с. 197].

185. 1958 г., 7 января, 16 ч 30 мин.

Татарская АССР, Тухаевский р-н, д. Новая Сарда. Наблюдатель Ш. Габдрахманов. Красный шар падал с шипением кочегарки, с жестяным треском (Архив КМЕТ).

186. 1958 г., 8 января.

Свердловская обл., г. Североуральск. Полет болида сопровождался шипением [32].

187. 1958 г., 19 января, 19 ч 30 мин.

Башкирская АССР, г. Октябрьский. Наблюдатель Л. Я. Еникеева. С северо-востока на запад летело с шипением сине-красное до белизны пламя [7, с. 193].

188. 1958 г., 30 января, 20 ч 40 мин.

Камчатская обл., с. Тигиль. Наблюдатель Ильченко. Небольшой шарик падал с высоты 45° с северо-запада на северо-восток с шипением и гулом. После пролета болида в течение 30 мин наблюдался красный след (Архив КМЕТ).

189. 1958 г., 8 апреля, 16 ч 40 мин.

На Среднем Урале наблюдался яркий болид, летевший на юго-восток, цвета вольтовой дуги, в полете искрил.

Свердловская обл., г. Кировград. Наблюдатели Л. Вейхман, А. Подтележников. По небу пронеслось продолговатое тело, издававшее шум, гудение и свист.

Курганская обл., Макушинский р-н, с. Казарки. Наблюдатель Я. М. Глухих. Во время падения был какой-то треск.

Южные районы Свердловской обл. Полет сопровождался треском и вызывал радиопомехи (Архив КМЕТ, [32]).

190. 1958 г., 11 августа, 15 ч 25 мин.

Алтайский край, Краюшкинский р-н, Белоярский санаторий. Наблюдатель А. А. Воронов. Болид цвета электросварки летел на северо-запад, испускал искры. Появился в точке с экваториальными координатами $\alpha = 3^h14^m$ $\delta = +54^\circ$, исчез в точке $\alpha = 15^h16^m$ $\delta = +19^\circ$. Размер головы болида $0,7 \times 0,9^\circ$, длина хвоста около 11° . При полете был слышен шорох. Явление продолжалось 5—6 с.

После пролета болида в течение 20 мин наблюдался ярко-желтый след (Архив КМЕТ).

191. 1958 г., 9 сентября, 14 ч 05 мин.

На территории Магаданской обл. наблюдался яркий болид, летевший с юго-запада на северо-восток под углом 60° к горизонту. Болид имел голубоватый цвет и в полете разбрасывал красные искры. Явление продолжалось 7—8 с. Болид рассыпался, не достигнув Земли.

пос. Палатка. Наблюдатель Сапунов. При полете тела был слышен шипящий звук.

В 190 км от г. Магадана. Наблюдатели Кожедуб, Хмаров. При полете слышалось шипение (Архив КМЕТ).

192. 1958 г., 5 ноября, 15 ч 15 мин.

Ростовская обл., пос. Тарасовский. Наблюдатель А. Ф. Шпилько. Болид огненно-красного цвета появился на северо-востоке. Был отчетливо слышен шум с завыванием, как у порывистого ветра. Болид рассыпался на семь частей. Явление продолжалось 5 с (Архив КМЕТ).

193. 1958 г., 5 декабря 16 ч 55 мин.

г. Таганрог. Наблюдатель Я. Д. Зашивайло. Болид цвета Луны двигался с юго-запада на северо-восток. В полете взорвался, после взрыва и при полете были слышны шуршание и треск. После пролета болида остался слабый след (Архив КМЕТ).

194. 1958 г., 6 декабря, 16 ч 44 мин.

г. Вильнюс. Наблюдатель В. А. Сухоцкис. Болид цвета электросварки состоял из трех одинаковых частей, каждая из которых искрила. Размер каждой части был около $6 \times 15'$. Слышались шипение и треск, напоминающие сало на сковородке или горящую елку. Явление продолжалось 4—5 с (Архив КМЕТ).

195. 1959 г., 17 марта, 19 ч 47 мин.

Харьковская обл., Сахновщинский р-н, совхоз им. 17-й Партконференции. Наблюдатель П. И. Воднос. Болид представлял собой огненный шар зеленого цвета, летящий на северо-восток и рассыпавший искры. В момент движения болида было слышно шипение (Архив КМЕТ).

196. 1959 г., 9 апреля, 18 ч 34 мин.

Харьковская обл., Сахновщипский р-н, совхоз им. 17-й Партконференции. Наблюдатель П. И. Воднос. Из созвездия Большой Медведицы болид летел на юго-восток мимо Арктура в Деву. В полете менял цвет с ярко-зеленого на тускло-красный и рассыпал массу искр. Слышались звуки треска искр. Болид осветил землю, как электролампочка. После пролета болида остался белый след (Архив КМЕТ).

197. 1959 г., 21 июня, 5 ч 30 мин.

Пермская обл., Чернушинский р-н, д. Ореховая Гора. Наблюдатель П. Д. Деткин. С севера на юг летело до 20 мелких тел. Ясно слышался прерывистый свист. Явление продолжалось 6 с (Архив КМЕТ).

198. 1959—1960 г., конец лета, 6 ч.

Хабаровский край, Ульчский р-н, с. Князево. Наблюдатель Г. Д. Коновалова. Вдруг раздался шум с шипением и сверху что-то упало в протоку (Архив КМЕТ).

199. 1959 г., август — сентябрь, после полуночи, перед рассветом.

Ворошиловградская обл., Белокуракинский р-н, с. Гладково. Наблюдатель А. И. Бондаренко. Низко над горизонтом появилось светящееся облако, двигавшееся к зениту. Впереди облака была видна звездочка, все разгоравшаяся. Ее полет сопровождался шипением, как-будто воздух выходит из накачанной шины (письмо А. И. Бондаренко, 1980 г.).

200. 1959 г., 6 октября, 15 ч 38 мин.

Польша. Наблюдался дневной болид с электрофонными явлениями.

г. Цежков. Наблюдатель В. Матушевский слышал звук, напоминающий журчание воды.

г. Аугустов. Наблюдатель Э. Стефаньский слышал шипение [61, с. 306—307].

201. 1959 г., 22 октября, 12 ч 35 мин.

г. Петропавловск-Камчатский. Наблюдатели М. Андерсон, Шашель, Моисеев. Болид был ярче звезд, но тусклее Луны. Летел по созвездию Большой Медведицы, от α через ϵ и исчез вблизи γ Большой Медведицы. Цвет болида менялся с белого на оранжевый. Слышалось шипение, как от горящей серы (Архив КМЕТ).

202. 1959 г., 25 октября, 19 ч 20 мин.

г. Севастополь. Наблюдатель С. И. Торшенко. Сферический болид летел с высоты 80° над югом до высоты 10° над севером при наклоне траектории к горизонту 30° . Болид состоял из темно-оранжевой головы диаметром 3' и хвоста из редких полос в виде метелки. При полете издавал трудноуловимое шипение. Явление продолжалось 12 с (Архив КМЕТ).

203. 1960 г., 15 января, 14 ч 50 мин.

Кировская обл., Оричевский р-н, с. Спасо-Талица. Наблюдатель С. В. Шарупова. Вся местность осветило ярким светом, и послышался какой-то шум. По небу летело шаровидное, чуть вытянутое тело радужного цвета в направлении с запада на восток. Явление продолжалось 5 с (Архив КМЕТ).

204. 1960 г., 6 февраля, 2 ч.

Пермская обл., Чернушинский р-н, д. Ореховая гора. Наблюдатель М. М. Зотов. Болид круглой формы, диаметром 15', красного цвета имел тонкий хвост, издавал жужжание, сравнимое с летящим пчелиным роем. Болид распался на три части. Явление продолжалось 5 с (Архив КМЕТ).

205. 1960 г., 22 ноября, 17 ч 11 мин.

г. Куйбышев. Наблюдатель В. А. Мухин. Звездообразный болид летел с юга на юго-восток под углом 70° к горизонту, издавая слабый треск, как при расчесывании сухих волос. Болид имел хвост длиной около 1° . Явление продолжалось 7—8 с (Архив КМЕТ).

206. 1961 г., 23 февраля, 11 ч 42 мин.

Саудовская Аравия. Болид летел с гулом, перешедшим в грохот. Полет болида закончился выпадением метеорита Рас Танура [23, с. 1].

207. 1961 г., 17 июня, 11 ч 50 мин.

Австралия, Вост. Виктория. На территории, ближайшей к концу траектории болида, некоторые из очевидцев слышали звук, напоминающий стук о крыши домов капель дождя [25, с. 6].

208. 1962 г., 14 января, около 15 ч.

Пермская обл., Чернушинский р-н, пос. Троицкий. Наблюдатель А. М. Сюткина. Диск оранжевого цвета диаметром 15' в полете издавал отчетливо слышимое шипение. После пролета болида осталась светлый след (Архив КМЕТ).

209. 1962 г., 23 февраля, 18 ч 50 мин.

Дагестанская АССР, г. Кизляр. Наблюдатель Т. В. Белоконь. Привлек внимание нарастающий шум и пронзительный свист. Повернувшись, увидел округлое искрящееся тело светло-оранжевого цвета, летящее с северо-востока на юго-запад под углом 30—35° к горизонту. Явление продолжалось 2—3 с (Архив КМЕТ).

210. 1962 г., 14 августа, около 10 ч.

Африка, Верхняя Вольта, д. Водон. При полете болида был слышен звук, похожий на звук летящего высоко самолета. Через несколько секунд послышался другой звук, более глухой, затем ставший резким, подобным звуку ракеты. Когда звук достиг максимальной силы, была замечена вспышка болида. Полет болида закончился выпадением метеорита Водон [24, с. 2—3].

211. 1963 г., 14 апреля.

Курганская обл., с. Пово-Ильинка. Наблюдатель В. М. Мазурова. Полет болида сопровождался треском [32].

212. 1963 г., 8 июля, 20 ч 25 мин.

Тамбовская обл., г. Моршанск. Наблюдатель В. П. Шмидт. Услышал какой-то резкий свист, временами с жужжанием. Люди на улице в это время видели метеор (Архив КМЕТ).

213. 1963 г., 8 ноября, 0 ч 09 мин.

США, г. Сан-Франциско. Болид с электрофонными явлениями. По радио сообщалось о затухании и интерференции радиопередач во время пролета болида. Исследования показали, что эти эффекты были вызваны не болидом, а неисправностью аппаратуры радиостанции. Из 65 очевидцев только трое сообщают об электрофонных звуках: «Слышал странный звук, похожий на свист рассекаемого воздуха»; «Явление напоминает горение и взрыв римской свечи [вид фейерверка]. Слышал звуки типа хлопк»; «Слышал свист, исходящий как бы от форта Уинерилд Скотт (болид летел в зените)» [47].

214. 1963 г., 18 декабря, 11 ч.

Восточно-Казахстанская обл., Зайсанский р-н, оз. Зайсан. Наблюдатель А. Н. Горсков. Находясь на льду озера, услышал шум, напоминающий шипение, и одновременно увидел падение метеорита. Полет болида закончился выпадением метеорита Зайсан (Архив КМЕТ).

215. 1964 г., 9 апреля, 20 ч 30 мин.

Винницкая обл., с. Погребище. Наблюдатель М. Н. Кузьменко. Болид темно-красного цвета летел с востока на запад. Диаметр головы болида около 15'. В конце полета начал искрить. Искры белые. Болид создавал тусклое освещение на местности. Полет сопровождался звуками, напоминающими шелест древесных листьев с легким свистом. Явление продолжалось 15 с (Архив КМЕТ).

216. 1964 г., 31 мая, 20 ч 45 мин.

Ярославская обл., пос. Семибратово. Наблюдатель В. Ю. Федотов. Болид представлял собой желто-оранжевую голову диаметром 30' с сине-зеленым хвостом. Двигался на восток, во время полета дробился. Слышалось потрескивающее шуршание (Архив КМЕТ).

217. 1964 г., 20 июня, около 20 ч.

г. Витебск. Наблюдатель Л. П. Ткачева (тогда школьница). Звездообразный болид светло-красного цвета летел с севера на юг, издавая какой-то гул. Явление продолжалось 4—6 с. После пролета болида остался темно-серый след (Архив КМЕТ).

218. 1964 г., 15—17 июля, около 18 ч.

Томская обл., пос. Усть-Чурулька Каргасокского р-на. Наблюдатель Н. И. Щекотько. Услышал шум пад головой: звездообразный болид цвета раскаленного железа с огненным хвостом пролетел с запада на восток, скрывшись за лесом [7, с. 198].

219. 1964—1965 гг., около 17 ч.

г. Челябинск. Наблюдатель Л. М. Хорецкая. В комнате все озарилось ярким светом, в окне стремительной полоской с шипением пронеслось яркое тело (Архив КМЕТ).

220. 1965 г., 14 января.

Яркий болид со следом наблюдался во многих пунктах ГДР и Польши. Из 1000 сообщений очевидцев лишь в 21 сообщении говорится о шуме и шорохе, сопровождавшем полет болида. Болид пронизал всю атмосферу со скоростью 18—22 км/с и снова улетел в космическое пространство [55].

221. 1965 г., лето.

Московская обл., д. Горбуново. Наблюдатель Е. О. Скворцова. Болид голубоватого цвета с небольшим хвостом летел с северо-востока на юго-запад, немного потрескивая, как при сварке. Явление продолжалось 1 с (Архив КМЕТ).

222. 1965 г., 28 августа, 14 ч 30 мин.

Алтайский край, Троицкий р-н. Наблюдатель А. В. Марченкова. Услышала шум и увидела летящий с запада на восток шар с огненным хвостом [7, с. 193].

223. 1966 г., 5 февраля, 15 ч 26 мин.

Волгоградская обл., Среднеахтубинский р-н, пос. Красный Сад. Наблюдатель А. Маркович. Болид красного цвета с зеленоватым оттенком возник около α Ориона в точке с экваториальными координатами $\alpha = 6^h00^m$ $\delta = +6^\circ$, пролетел между Сириусом и Прочионом, задержался около α Единорога в точке $\alpha = 7^h30^m$ $\delta = -10^\circ$, далее летел по Компасу и распался в точке $\alpha = 7^h50^m$

$\delta = -14^{\circ}30'$. Яркость оценена как -4^m . Во время полета был слышен свистящий звук. Явление продолжалось 4 с (Архив КМЕТ).
224. 1966 г., 30 марта, 15 ч 45 мин.

На Среднем Урале наблюдался яркий болид, представлявший собой ярко-белую голову диаметром 25—30' с хвостом длиной $1^{\circ}20'$ красного цвета. Полет болида закончился вспышкой. Явление продолжалось 3—5 с.

г. Свердловск. Наблюдатель Л. А. Федоров. Полет сопровождался треском и шипением ([32], Архив КМЕТ).

225. 1966 г., 25 апреля.

Канада, г. Квебек, Лайкфилд. Наблюдался яркий болид (-15^m). Четверо очевидцев отметили звуки типа шипения и треска, один сравнил их со щелканьем [48].

226. 1966 г., август — сентябрь, 16 ч 30 мин.

Красноярский край, Идринский р-н, с. Средняя Салда. Наблюдатель В. Ф. Колмогоров. Болид летел на северо-северо-восток с сильным искрением. Диаметр головы синего цвета 15—20', длина красного хвоста около $1^{\circ}20'$. Болид летел под углом 30—35° к горизонту, издавая шипящий звук. Явление продолжалось 3—4 с (Архив КМЕТ).

227. 1966 г., 14 ноября, около 15 ч.

Пермская обл., Чернушинский р-н, ст. Трун. Наблюдатель Ю. Н. Хомутов. Вначале услышал шуршание, потом шум со свистом, потом появился болид. Болид появился на высоте 54° на северо-западе и летел на северо-восток. Голова болида каплевидная, голубого цвета, величиной с диск полной Луны. Хвост оранжевого цвета. Наблюдалось искрение и слабое освещение местности (Архив КМЕТ).

228. 1967 г., 28 апреля, 23 ч.

Коми АССР, Сыктывкарский р-н, с. Часово. Наблюдатель М. М. Конакова. Слышала шум, похожий на гул самолета, но прерывистый, и увидела, как на северо-запад летит огненное тело, оставляя след (Архив КМЕТ).

229. 1968 г., 24 февраля, 0 ч.

Кемеровская обл., г. Анжеро-Судженск. Наблюдатель Р. С. Заметова. С «воем сирены» падал камень красно-желтого цвета, и от него отлетали мелкие частицы. Полет происходил в северо-западном направлении с шипением (жужжанием) [7, с. 194; 17, с. 31].

230. 1968 г., 9 апреля.

Свердловская обл., г. Асбест. Наблюдатель А. П. Сучков. Полет болида сопровождался слабым свистящим звуком [32].

231. 1968 г., 31 августа, 18 ч.

г. Адлер. Наблюдатель Неклюхина. Повернуть голову в сторону падения болида заставил звук, похожий на потрескивание. Болид летел на фоне созвездия Большой Медведицы под углом $45-50^{\circ}$ к горизонту (Архив КМЕТ).

232. 1968 г., сентябрь, 19 ч 30 мин.

Калининская обл., пгт Андреаполь. Наблюдатель Н. П. Пряников. На запад пронесся голубого цвета «снаряд», издававший

звук полыхающего огня, но не очень громко. У болида наблюдался голубой хвост (письмо Н. П. Прянникова от 15 мая 1982 г.).

233. 1968 г., 30 октября, 15 ч 30 мин.

г. Горький. Наблюдатель А. В. Лихачев. Болид представлял собой каплевидную голову голубого цвета и хвост с искрами. Летел с востока на запад. Явление продолжалось 30—40 с (Архив КМЕТ).

234. 1969 г., 25 апреля, 21 ч 25 мин.

Великобритания. Очевидцы полета болида отмечали свистящий шум и взрывы. Полет болида закончился падением метеорита Боведи-Спрюсфилд [27, с. 1].

235. 1969 г., 28 мая — 10 июня, 23 ч — 23 ч 30 мин.

Иркутская обл., ст. Саранчет. Наблюдатель А. Н. Казаков. Раздалось странное шуршание. На юго-запад летело тело диаметром 2,5° белого цвета, чуть желтоватое, не слепящее глаз. Сзади тянулась полоса. Через 2—3 с тело разделилось на две части. После пролета болида остался след [7, с. 194].

236. 1969 г., 25 июня, 16 ч.

г. Казань, Обсерватория им. Энгельгардта. Наблюдатели М. П. Ананьева, В. С. Тохтасьев, А. В. Сухоцкий. Услышали громкий поразительный свист. Через 5 с топ свиста резко изменился и в небе пролетело тело на юго-юго-восток под углом 30° к горизонту. Падение продолжалось 0.5 с. После пролета болида остался след длиной 45° (Архив КМЕТ).

237. 1969 г., 15 декабря, 15 ч 04 мин.

Иссык-Кульская обл., г. Рыбачье. Наблюдатель М. П. Калюк-ный. Услышал слабый свист, который стал резко усиливаться, и из облаков вылетел метеор, оставляющий след. Летел вертикально вниз. Метеор был малинового цвета и имел диаметр 1,5', в полете искрил. Сразу после исчезновения метеора послышались короткое шипение и треск. Явление продолжалось 5 с (Архив КМЕТ).

238. 1970 г., зима, около 10—11 ч.

г. Магадан. По описанию очевидца, над головой раздался треск и по небу пролетел шар с хвостом и искрами. После пролета болида остался слабый след (Архив КМЕТ).

239. 1970 г., 4 января, 2 ч 14 мин.

США, штат Оклахома. Яркий болид (-15^m) сопровождался звуковыми явлениями. Наблюдался в течение 9 с. Полет болида закончился падением метеорита Лост Сити [28, с. 1].

240. 1970 г., 18 января, 22 ч 43 мин.

Венесуэла. Из дома фермы наблюдался болид, сопровождавшийся звуками. Полет болида закончился падением метеорита Коро [28, с. 1].

241. 1970 г., июнь — июль, 18—19 ч.

Брестская обл., Пружанский р-н, с. Шерешево. Наблюдатель Л. Сивуда (тогда 10 лет). Услышав за спиной шорох, оглянулся и увидел летящий с востока предмет с длинным шлейфом зеленого огня. Полет закончился распадом болида в сопровождении хлопкa. Летел с шелестом, как бы шуршал (письмо Л. Сивуды от 28 апреля 1982 г.).

242. 1970 г., 7 июня, 19 ч 10 мин.

г. Запорожье. Наблюдатель Ю. А. Повиков. На север пролетел огненный шар, оставляющий след. При этом был слышен звук, напоминающий свистящий скрежет (Архив КМЕТ).

243. 1970 г., 28 августа, 19 ч 08 мин.

г. Кривой Рог. Наблюдатель Б. Демьяненко. Метеор огненно-красного цвета летел с юга на запад. Возник между α Волопаса и α Северной Короны, далее двигался через α Геркулеса и распался в созвездии Орла. Во время полета был слышен не особенно громкий свист. Явление продолжалось 5 с. После пролета болида 2,5 мин был виден след (Архив КМЕТ).

244. 1970 г., август — сентябрь.

Кировоградская обл., г. Гайворон. Наблюдатель А. В. Тапашарчук. Небо вдруг так ярко осветилось, что нельзя было на него смотреть, и послышалось свистящее шуршание (Архив КМЕТ).

245. 1971 г., 30 апреля, 21 ч.

Красноярский край, Черский р-н, урочище Барель. Наблюдатель А. Е. Куличихин. На охоте услышал рокочущий звук и увидел сверху яркую огненную полосу, затем услышал шипение, хлопок, скрежет и увидел вспышку. Болид двигался с юго-востока на северо-запад. После пролета болида остался яркий след (письмо А. Е. Куличихина 1982 г.).

246. 1971 г., 21 мая, 18 ч 10 мин.

г. Ялта. Наблюдатели В. В. Морачевская, И. И. Левченко. Белоснежный шар с коротким, но широким хвостом летел с юго-востока под углом $10-15^\circ$ к горизонту. Отчетливо слышался звук, похожий на шорох или дуновение ветра. Явление продолжалось 3—4 с (Архив КМЕТ).

247. 1972—1973 гг., весна, 8 ч 35 мин.

Магаданская обл., Чукотский нац. окр., Пульгинский р-н. Наблюдатель А. М. Бобыльский. Над головой раздался шум. Шарообразный болид с белым хвостом пролетел очень полого к горизонту с севера на юго-восток [7, с. 196].

248. 1972 г., 13 апреля, 15 ч 15 мин.

г. Ош. Наблюдатель В. И. Гусев (тогда школьник). Звездообразный белого цвета болид двигался, испуская искры, от γ Ориона до созвездия Эридан. Исчез на высоте 10° над горизонтом. Явление продолжалось 5—6 с. После пролета болида 40 мин наблюдался след. Во время полета слышалось шипение (Архив КМЕТ).

249. 1972 г., июль — август, 20—21 ч.

г. Херсон. Наблюдатель В. А. Настасенко. Услышал в небе странное шипение, переходящее в протяжный звук, напоминающий гудок электропоезда. Подняв голову, увидел на северо-западе болид (письмо В. А. Настасенко от 16 мая 1982 г.).

250. 1972 г., 10 августа, 21 ч 25 мин.

США, штат Монтана. Наблюдатели на севере штата сообщают о гуде, за которым последовал длительный грохот [52].

251. 1973 г., 11 февраля, 23 ч 06 мин.

Хабаровский край, Комсомольский р-н, пос. Солнечный. Наблюдатель Ф. И. Волкова. Стало вдруг светло. Слышала жужжание с

шипением, потом глухой удар. Болид каплевидной формы летел с востока на юго-запад под углом $15-20^\circ$ к горизонту. Диаметр болида около 7' [7, с. 199].

252. 1973 г., 2—3 мая, 18 ч.

ЭстССР, г. Тапа. Наблюдатель Г. А. Ялакас. Слышал грохот как бы спускающегося самолета или вертолета, вой и «выстрелы». В это время за пристройками упал небольшой предмет (Архив КМЕТ).

253. 1973 г., 15 августа, 14 ч.

Горьковская обл., Лукояновский р-н, с. Иванцево. Наблюдатели О. А. Черкас, С. Зимин, П. Костромин, А. Бошкин, Н. Кед. С востока прилетел светло-красный метеорит. Звук метеорита не сильный. Упал в загон (Архив КМЕТ).

254. 1973 г., 28 августа, 21 ч 13 мин.

Гомельская обл., г. Речица. Наблюдатель Н. В. Иванов. Болид голубого цвета представлял собой яркий ($-4,5^m$) диск диаметром 37', испускающий желтые искры. Летел почти вертикально и исчез на высоте 34° над горизонтом. При полете было слышно слабое потрескивание, наподобие треска неоновой лампы. Явление продолжалось 5 с. В полете болид оставлял след, исчезнувший одновременно с болидом (Архив КМЕТ).

255. 1973 г., 8 сентября, 1 ч 30 мин.

г. Астрахань. Наблюдатель А. А. Искрин. По предрассветному небу в направлении с юга на восток пронесся шар с ярким хвостом. Вначале он раскололся на две, а потом на четыре части, которые скрылись за горами. Полет сопровождался шипением, потрескиванием и лопанием. Явление продолжалось 7—8 с (Архив КМЕТ).

256. 1973 г., 4 октября, 20 ч 05 мин.

ГДР, Тюрингия. Наблюдался болид ярче полной Луны. Был отмечен продолжительный шум во время полета, до взрыва болида [42, 49].

257. 1973 г., 10 октября, 3 ч 40 мин.

Донецкая обл., пос. Дружковка. Жители поселка наблюдали болид диаметром 50—60', летевший от азимута 80° и высоты 20° к азимуту 330° и высоте 15° . Цвет болида в полете изменился с белого на красный. Электрофонные явления отметил наблюдатель А. Н. Верещага, слышавший во время полета шипение. Явление продолжалось 15—20 с (Архив КМЕТ).

258. 1973 г., поздняя осень, около 21 ч.

Днепропетровская обл., Павлоградский р-н, пос. Терновка. Наблюдатель А. В. Ставский. Болид падал вертикально с треском. После его пролета остался след (Архив КМЕТ).

259. 1973 г., середина декабря, поздний вечер.

Читинская обл., Борзинский р-н, с. Александровский Завод. Наблюдатель С. М. Кирпичников. Стало светло, как днем. Обернулся, увидел большой яркий белый болид, разделившийся на две части. Звук был, как при резком открытии крана компрессора [7, с. 200].

260. 1974 г., 3 марта, 19 ч 20 мин.

г. Одесса. Наблюдатель В. Юркевич. Яркий шар немного мень-

ше полной Луны с желто-синим хвостом, шипя, летел с востока на запад (Архив КМЕТ).

261. 1974 г., 3 апреля, 20 ч.

На Северном Кавказе наблюдался яркий болид, летящий с юга на запад.

г. Пятигорск. Наблюдатель А. И. Садовский. Болид летел с треском и вспышками (Архив КМЕТ).

262. 1974 г., 11 октября, 19 ч 13 мин.

г. Одесса. Наблюдатель В. Юркевич. Болид диаметром 15' летел с востока на северо-запад-запад. Во время полета было слышно шипение (Архив КМЕТ).

263. 1974 г., 22 октября, 17 ч 42 мин.

г. Одесса. Наблюдатель В. Юркевич. Очень яркий болид, яркий настолько, что цвета не различить, с головой диаметром 7—8' летел с северо-востока на юго-запад. Во время полета был слышен тихий звук летящего снаряда (Архив КМЕТ).

264 1975 г., 26 января, 16 ч 30 мин.

Тернопольская обл., пгт Козово. Наблюдатель А. Маевский. Болид летел на юго-запад. В полете шипел (Архив КМЕТ).

265. 1975 г., 26 января, 17 ч 17 мин.

Тернопольская обл., пгт Козово. Наблюдатели И. С. Бордун, В. И. Бордун. Видели пролетающий огонь сверху и еще до появления огня услышали звук, напоминающий звук автомашины, гудение трансформатора (Архив КМЕТ).

266. 1975 г., 3 марта, 11 ч 45 мин.

Новая Гвинея. Наблюдался полет болида, сопровождавшийся звуком, похожим на звук вертолета. После пролета болида остался след. Полет болида закончился выпадением метеорита Гйопега (Архив КМЕТ).

267. 1975 г., апрель, 21—22 ч.

г. Владимир. Наблюдатель Е. П. Викулова. Услышала сильный высокий нарастающий звук, похожий на рев самолета. Звук превратился в приближающийся свист, и сразу из-за домов на высоте птичьего полета появилось летящее ядро в красноватом ореоле и с хвостом синего цвета (письмо Е. П. Викуловой от 11 мая 1982 г.).

268. 1975 г. 25 апреля, 19 ч 52 мин.

Над Швейцарией, ФРГ и Голландией наблюдался очень яркий болид, давший над Голландией взрыв ($-15^m \div -20^m$). Явление продолжалось 7 с.

В ФРГ (Веезе) наблюдатель Ф. Будике слышал легкий треск [56].

269. 1975 г., 21 июня, 22 ч 05 мин.

Между г. Ульяновском и г. Тольятти. Наблюдатель Б. В. Чернов. Видел голубой овальный болид. Полет закончился взрывом в сопровождении легкого хлопка. За каждым осколком болида был виден след (Архив КМЕТ).

270. 1975 г., 25 июля, 20 ч 37 мин.

Ворошиловградская обл., г. Рубежное. Наблюдатель С. В. Генералов. Болид представлял собой голову размером с Луну, за ко-

торой тянулся хвост красного цвета длиной 4° . Яркость болида сравнима с яркостью Луны в 1-й четверти. В полете были слышны тихий треск и скрип. Явление продолжалось 3 с (Архив КМЕТ).

271. 1975 г., 31 июля, 17 ч 45 мин.

г. Воронеж. Наблюдатель Д. Попов. Болид меньше Луны летел на юго-запад и дробился в полете. После пролета половины пути стало слышно небольшое шипение, а после исчезновения болида стук. Явление продолжалось 4 с (Архив КМЕТ).

272. 1975 г., конец августа, около 20 ч.

Белгородская обл., пгт. Чернянка. Наблюдатель Р. Безбородов. Заметил яркую быстро летящую звезду, двигавшуюся с юго-запада на северо-восток. Разорвалась на мелкие кусочки, как залп салюта, и сразу же послышался удар (письмо Р. Безбородова от 30 апреля 1982 г.).

273. 1976 г., 13 января, 13 ч 45 мин.

г. Алма-Ата. Наблюдатель М. Файзулин. При полете красного тела земля осветилась и раздался негромкий свист. Явление продолжалось 15 с (Архив КМЕТ).

274. 1976 г., февраль, 2 ч.

г. Севастополь. Наблюдатель В. Королева. Огненный шар падал, сильно освещая местность. Падение сопровождалось шипением. Явление продолжалось менее 1 с (письмо В. Королева).

275. 1976 г. 11 февраля, 15 ч 50 мин.

Над европейской частью РСФСР наблюдался полет яркого болида, получившего название Балтийского, в направлении с северо-запада на юго-восток. Болид имел довольно протяженный хвост, в 10 раз длиннее головы, и при полете сильно искрил. Явление продолжалось 90 с. Из 59 просмотренных из архива МО ВАГО сообщений о наблюдениях в 14 отмечены электрофонные явления (рис. 5).

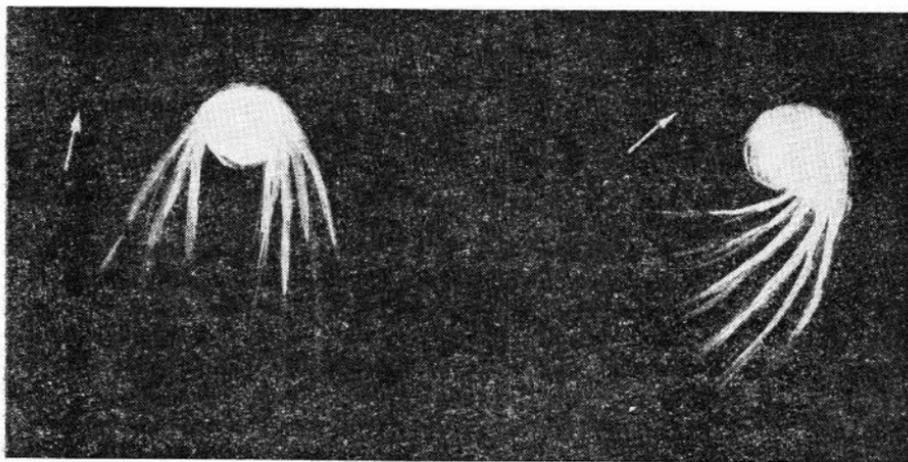


Рис. 5. Две последовательные фазы «Балтийского болида». Вид из с. Поддорье Новгородской обл. (с рис. А. Алексеева).

276. 1976 г., 12 февраля, 1 ч.

Калининская обл., Селижаровский р-н, д. Подмашье. Жители деревни наблюдали падение на землю «вещества», которое при падении очень гудело (Архив КМЕТ).

277. 1976 г., зима (январь — февраль), 13 ч.

Кемеровская обл., ст. Трудоармейская. Наблюдатель В. В. Егоров. С запада на восток поднимался яркий шар величиной с Луну, и слышался слабый шипящий звук. Шар со следом пролетел южнее зенита (письмо В. В. Егорова от 28 января 1983 г.).

278. 1976 г., 21 февраля, 16 ч 31 мин.

г. Москва. Наблюдатель В. Пыжьонов (тогда школьник). Болид белого цвета падал на юго-восток. В полете дробился. При падении болида слышалось шипение. Явление продолжалось 15 с. После пролета болида в течение 6 с наблюдался след (Архив КМЕТ).

279. 1976 г., март — апрель, 2 ч 30 мин.

Тюменская обл. Наблюдался полет болида, сопровождавшийся пронзительным свистом. После пролета болида остался тонкий след (Архив КМЕТ).

280. 1976 г., июнь, 22 ч 30 мин.

Джамбульская обл., ст. Луговая. Наблюдатель Е. А. Белолипецкий. На юго-западе наблюдался шарообразный ослепительно-белый болид с багрово-красным хвостом. Одновременно слышался шипящий звук. Болид распался на примерно 10 частей и погас. Звук прекратился в момент дробления болида. Явление продолжалось 3 с [7, с. 201].

281. 1976—1977 гг., лето, около 18 ч.

Тюменская обл., Ханты-Мансийский авт. окр., с. Цингалы. Наблюдатель И. Рукавишников. Большой огненный шар с искрами упал в районе д. Ярки. Во время полета болид издавал шипение [7, с. 198].

282. 1976 г., 11 августа, 17 ч.

Мексика, Акапулько. Наблюдатель Л. Карденас. Видел, как небольшой круглый объект движется с запада на восток с шумом, похожим на гул небольшого самолета, затем услышал звук падения [51].

283. 1976 г., 24 августа, 18 ч 15 мин.

г. Саратов. Наблюдался полет двух шаров. Один красный, мигающий, другой тоже красный, но с хвостом. Был слышен шум типа стаи птиц. Болид рассыпался (Архив КМЕТ).

284. 1976 г., 24 августа.

США. Болид ($-18^m \div -20^m$) наблюдался над штатами Калифорния, Невада и Аризона. На всей территории национального парка Йосемитт был слышен шум. Была сильная вспышка, достаточная, чтобы разбудить спящих [53].

285. 1976 г., осень, ночью.

Приморский край, около г. Находки. Наблюдатель Н. В. Ваюмов. Услышал свист, медленно переходящий с высоких тонов на низкие и в конце в гул реактивного самолета. Местность осветилась, и он увидел что-то огромное и неровное с недлинным ярким хвостом.

Объект летел в сторону г. Находки под углом к горизонту. В полете исчез хвост, и гул со свистом тут же смягчились (письмо Н. В. Ваюмова от 22 августа 1982 г.).

286. 1977 г., 19 января, 10 ч 30 мин.

США, штат Кентукки. Яркий болид наблюдался на западе центральной части штата. Полет сопровождался гулом [54].

287. 1977 г., 29 мая, 14 ч.

Владимирская обл., Камешковский р-н, пос. Новая Заря. Наблюдатель В. П. Шикун. Вначале услышал звук, подходящий на звук реактивного самолета. Затем увидел летящее на северо-восток тело, оставляющее за собой след. Явление продолжалось менее 1 с (Архив КМЕТ).

288. 1977 г., 2 сентября, 17 ч 42 мин.

Донецкая обл., г. Горловка. Наблюдатель В. В. Довголевский. Болид (-4^m) желто-красного цвета имел голову диаметром 15' и хвост длиной около 1°. Двигался с высоты 43—45° над горизонтом. Пройдя половину пути вспыхнул, заискрился и сменил цвет на оранжевый. В конце пути вспыхнул в 2 раза ярче и распался на три части. При движении болида между вспышками слышал слабый треск, похожий на электрические разряды. Явление продолжалось 3 с (Архив КМЕТ).

289. 1977 г., 26 сентября, 19 ч.

Новосибирская обл., Чулымский р-н, д. Воздвиженка. Наблюдатели Н. Каперский, А. Ватнер. Болид летел с сильным шипением и свистом (Архив КМЕТ).

290. 1977 г., ноябрь, 5 ч.

Краснодарский край, пос. Кутаис. Наблюдатели Л. М. Корниенко, М. С. Еременко. Объект снижался с громким свистящим шумом, похожим на гул небольшого самолета. Полет болида закончился выпадением метеорита Кутаис [50].

291. 1978 г., 19 января, 19 ч 30 мин.

Башкирская АССР, г. Октябрьский. Наблюдатель Л. А. Еникеева. С северо-запада на запад летело с шипением спие-красное до белизны пламя (Архив КМЕТ).

292. 1978 г., 6 апреля, 18 ч 44 мин.

Австралия, Ньюкасл, Сидней. Очевидцы наблюдали полет болида с юго-запада на северо-восток. Над океаном, в 70 км к югу от Ньюкасла, испытал вспышку до -16^m , после чего пролетел еще ~130 км и на высоте 15 км прекратил существование. Вычислены траектория и орбита. Большое число очевидцев сообщает о слышимости звуков типа шипения, треска, жужжания и свиста, одновременных с полетом болида (15 письменных сообщений). Трое очевидцев отмечают, что услышали звуки раньше, чем увидели болид [44, 45].

293. 1978 г. 12 мая, 17 ч 38 мин.

г. Свердловск. Наблюдатель В. М. Буторин. Услышал, как что-то свистит. Свист нарастал. Посмотрел в окно и увидел шар диаметром 7—8' с хвостом длиной 30'. Явление продолжалось 2,5 с (Архив КМЕТ).

294. 1978 г., 17 июня, 22 ч 42 мин.

Ставропольский край, Георгиевский р-н, с. Обильное. Наблюдатель Ю. Ю. Железнов (тогда 14 лет). Красная точка летела из созвездия Лиры, оставляя след. Полет сопровождался тихим шипением. Явление продолжалось 4 с (Архив КМЕТ).

295. 1978 г., 29 июня, 20 ч.

Красноярский край, Ачинский р-н, пос. Причулымский. Наблюдатель У. Я. Тукоева. Яркое тело в форме очиненного карандаша летело с востока на юго-запад (длина видимого пути 65—70°) в сопровождении множества искр. Летело с незначительным шумом. В полете тело дважды «подпрыгнуло» и с треском, напоминающим горение смолистой лучины, исчезло [7, с. 195—196].

296. 1978 г. (время года не указано).

г. Фрунзе. Наблюдатель Р. Д. Сарыкулов. Видел какой-то предмет и слышал звук, похожий на то, как раскаленное железо опускают в воду. Предмет был чуть побольше звезды и искрился (письмо В. В. Егорова и Р. Д. Сарыкулова от 28 января 1983).

297. 1978 г., конец августа, 14—18 ч.

Тюменская обл., Ханты-Мансийский нац. окр. Наблюдатель Б. К. Денисов. В северной части небосвода появилась полого летящая яркая точка цвета электросварки, быстро увеличивала яркость, раздвоилась. Одна часть вскоре потухла, вторая, оранжевая, не долетев до горизонта, дала искры, рассыпалась и погасла. В полете издавала шипение, прекратившееся в конце полета [7, с. 198—199].

298. 1978 г., 26 августа, днем.

Новосибирская обл., пос. Сосновка. Наблюдатели Г. М. Терехова, О. Г. Мельман. В просвете облаков с запада на восток летел болид с резким свистом. Болид был неправильной формы, величиной с Луну, но несколько меньше, голубого цвета, задний край розовый, хвост светло-голубой [7, с. 196].

299. 1978 г., осень.

Томская обл., Первомайский р-п. Наблюдатель Б. А. Лобанов. Услышал нарастающий звук и увидел шарообразный болид с ярким светлым хвостом. Затем — взрыв, подобный снарядному [7, с. 198].

300. 1978 г., октябрь, 15 ч.

Пензенская обл., с. Вышне-Ломово. Наблюдатель В. П. Мухин. Шар с белым хвостом летел, создавая сильный свист (Архив КМЕТ).

301. 1978 г., 8 октября, 12 ч 41 мин.

Хабаровский край, Нанайский р-н, с. Бихан. Наблюдатели А. М. Салатин, В. М. Салатин, П. Колодин. С севера на юг под углом 20° к горизонту летел болид с длинным шлейфом. От него летели искры с шипением. Шар погас, через минуту раздался взрыв [7, с. 199].

302. 1978 г., 19 октября, около 14 ч.

Иркутская обл., Братский р-н. Наблюдатель А. Я. Бурулов. Через окно услышал треск, похожий на выстрел ракетницы. Зеленый болид, оставляя след цвета расплавленной стали, окрасил небосвод в зеленый цвет. В конце полета — оранжевая вспышка. Явление продолжалось 5—9 с [7, с. 194].

303. 1978 г., 3 ноября, 15 ч 30 мин.

Ставропольский край, г. Железноводск. Наблюдатель Л. П. Хайрулина услышала сильный вой, будто собака завывала. Залаяли собаки и тут же появился огненный шар. Затем послышался такой звук, как будто бомба падает. Шар был красного цвета и летел с запада на юг (Архив КМЕТ).

304. 1978 г., 19 ноября, 17 ч 32 мин.

г. Москва. Наблюдатель В. Д. Капустин. Ярκο-красный болид издавал звук, напоминающий полет снаряда. Явление продолжалось 1—1,5 с. После пролета болида остался красный след (Архив КМЕТ).

305. 1978 г., конец декабря, около 3 ч.

г. Челябинск. Наблюдатель М. М. Зиннуров. Увидел летящий предмет, когда начинал появляться его след. Звук раздавался, как от электросварки (письмо М. М. Зиннурова от 23 апреля 1983 г.).

306. 1979 г., август, 16—17 ч.

Магаданская обл., прииск Пятилетка. Наблюдатель Ухинок: «Не помню, что первое заставило меня оглянуться, шелест или свет, скорее всего шелест, ибо ночь была темная и тихая». Увидел небесное тело, летевшее ниже вершины сопки с запада на восток под углом 45°. Затем последовал треск, тело вспыхнуло, осветив мягким голубым светом кустарник, росший по склону сопки (письмо Ухинка от 28 мая 1982 г.).

307. 1979 г., 13 декабря, 13 ч 23 мин.

г. Фрунзе. Наблюдатель А. А. Ермолаев. Услышал свист, а подняв голову, увидел и болид, летевший с востоко-северо-востока на западо-юго-запад. Весь полет сопровождался свистом довольно низкой тональности. После пролета болида остался светлый шлейф (письмо А. А. Ермолаева от 30 апреля 1982 г.).

308. 1980 г., 3 января, 15 ч 30 мин.

Николаевская обл., совхоз Засельский. Наблюдатель В. Абрамов. Болид летел с высоты 23° на востоке до высоты 10° на западе под углом 27° к горизонту. Болид имел каплевидную форму, ярко освещал местность. В полете издавал гул. Явление продолжалось 7 с (Архив КМЕТ).

309. 1980 г., 18 января, 1 ч 15 мин.

Горно-Алтайская АО, Усть-Коксинский р-н. Наблюдатель В. Л. Микрюкова. Услышала треск, как при электросварке. На востоке показался оранжевый шар с хвостом, в котором присутствовали зеленоватый, желтоватый, оранжевый цвета [7, с. 193].

310. 1980 г., 22 января, 20 ч 07 мин.

Западная Австралия, Гамильтон Хилл. Наблюдатели Г. Симпсон и К. Мак-Кинли. Сверкающая стрела осветила небо, сделав звезды временно певидимыми. Ландшафт был освещен как днем. Длительный след (6 мин). Кроме видимых эффектов, прохождение болида произвело слабый гремящий звук, беспокоивший животных. Спустя 1,5 мин были слышны грохочущие звуки (сводка на ротаторе «Fireball Reports» Западно-Австралийского метеорного общества).

311. 1980 г., конец весны, около 19 ч.

Кировоградская обл., г. Бобринец. Наблюдатель В. Н. Дмитриева. Местность осветилась, и тут же послышался сильный одно-

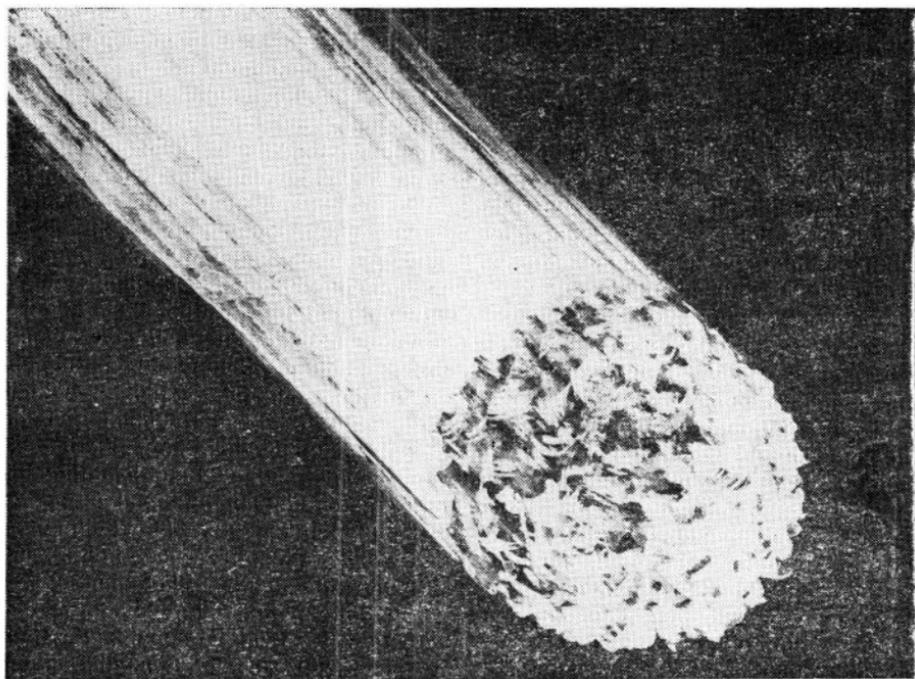


Рис. 6. Головная часть болида конца весны 1980 г. Вид с горы Бобринец Кировоградской обл. (с рис. В. Н. Дмитриевой).

тонный шум. Болид — орапжевый комок с неровными краями и большим хвостом — летел с востока на запад через зенит, скрывшись за горизонтом. По спине пробежал «ужасный холод». Самый сильный шум болид производил в зените [7, с. 201] (рис. 6).

312. 1980 г., 25 июня, утро.

Челябинская обл., Аргаяшский р-п, с. Акбашево. Наблюдатель А. Н. Татауров. Услышал сзади шум, повернувшись, увидел на западе болид цвета электросварки, приближающийся с рокотом. От болида стали отделяться куски, рокот сменился гулом, и болид скрылся на востоке в лучах Солнца. Явление продолжалось 4 с [7, с. 200].

313. 1980 г. (?), лето 17 ч (± 30 мин).

г. Новочеркасск. Наблюдатель Р. И. Анохина. Шла из огорода и услышала шорох в небе или какой-то звук, подняла голову и увидела огненный шар — белый и желтый с хвостом, летевший по наклонной траектории. Температура его была больше 1000°C (письмо Р. И. Анохиной от 15 февраля 1983 г.).

314. 1981 г., март — апрель, после 16 ч.

г. Омск. Наблюдатель С. В. Бобрусъ. Услышал как бы разряд тока, а через несколько секунд увидел яркую вспышку в небе (через окно), которая длилась 5—6 с [7, с. 197].

315. 1981 г., лето, 20—21 ч.

Воронежская обл., совхоз Гремиколодезный. Наблюдатель М. М. Худояров. Услышал звук, похожий на резкое дуновение ветра или шум пролетающей стаи птиц. Спустя несколько секунд снова отчетливо услышал звук, похожий на гудение электропроводов. Звук шел сверху. Повернувшись, увидел болид, летевший с запада на восток, похожий на факел. После пролета болида остался дымчатый след, быстро исчезнувший. Явление продолжалось 40—50 с (письмо М. М. Худоярова 1982 г.).

316. 1981 г., 15—30 июля, около 21 ч.

Калининская обл., г. Конаково. Наблюдатель Л. Г. Полякова. Услышала необычный гул и увидела на небе светящийся желто-розовый предмет. Со снижением предмета гул менялся с высокого на низкий тон. Явление продолжалось около 25 с (письмо Л. Г. Поляковой от 6 марта 1982 г.).

317. 1981 г., лето, 20 ч.

Полтавская обл., Любешский р-н, с. Ореховка. Наблюдатель И. Рымо. Тело желтого цвета с красно-вишневым хвостом при полете издавало звук, как от электросварки (письмо И. Рымо от 5 июня 1982 г.).

318. 1981 г., 30 июля, 21 ч 45 мин.

Ирландия, г. Дублин (болид наблюдался во многих населенных пунктах Ирландии). Наблюдатели Ф. Ширин, Б. Эган, Б. Лоулор. Болид был $-13 \div -14'$. Цвет голубовато-белый, свечение напоминало горящий магний. Некоторые очевидцы отметили звуки типа треска и шипения [38].

319. 1981 г., 2 августа, около 14 ч 30 мин.

г. Улан-Удэ. Наблюдатель В. И. Уральская. Вдруг увидела большой светящийся болид. Когда он летел, слышала треск разрываемой ткани. Явление продолжалось около 10 с (письмо В. И. Уральской от 27 апреля 1982 г.).

320. 1981 г., 12 августа, около 16 ч.

Ставропольский край, пос. Белый Уголь. Наблюдатель Г. Ф. Полковский. В просвете между грозowymi и кучевыми облаками заметил летящий с юго-востока на северо-восток ярко-оранжевый болид диаметром $12'$. Полет был горизонтален на высоте $40-45^\circ$. Одновременно ощутил четкий шелест, который пропелся по расположенным рядом кустам и деревьям (письмо Г. Ф. Полковского 1982).

321. 1981 г., 8 ноября, 4 ч 30 мин.

Калужская обл., Боровский р-н, д. Белкино. Наблюдатель В. Н. Большаков. Внимание привлек допоясанный из-за дома нарастающий, пульсирующий, поющий звук, который издает беспорядочно падающий самолет. Звучащий предмет увидел в зените, как только он появился из-за дома. Летел с востока на запад. Болид создавал пульсирующее свечение. Длительность звука 8—10 с. Болид падался 5 с. После пролета болида остался шлейф дыма (письмо В. Н. Большакова от 30 апреля 1982 г.).

322. 1981 г., конец ноября, 1 ч.

г. Свердловск. Наблюдатель А. Соколов. Болид состоял из искрящегося ядра и тянущегося за ним хвоста. Погас, не долетев до

горизонта. Падение болида сопровождалось звуком, напоминающим свист падающей бомбы (письмо А. Соколова от 29 апреля 1982 г.).

323. 1981 г., 1—10 декабря.

Тульская обл., г. Новомосковск. Наблюдатель Г. Г. Сапельников. Услышал звук сверху, напоминающий электросварку, обернувшись, увидел болид длиной 1,2° и шириной 0,2°. Полет продолжался 0,2—0,3 с (письмо Г. Г. Сапельникова от 20 июня 1982 г.).

324. 1981 г., 15 декабря, 1 ч 15 мин.

г. Новосибирск. Наблюдатель В. М. Прудников. Увидел в небе ярко светящийся шар с Луну, пролетевший под углом 30° к горизонту, с ярким огненным хвостом. Был слышен не очень сильный шум [7, с. 196].

325. 1982 г., январь (или 1981 г., конец декабря), до 13 ч.

Сахалинская обл., пос. Тельновский. Наблюдатель М. И. Лосенков. Услышал треск моментально сломанного дерева (как в сильную бурю). В этот момент с севера на юго-восток по небу летел шар. Далее был слышен какой-то треск. Через 3—4 с все стало угасать (письмо М. И. Лосенкова от 31 мая 1982 г.).

326. 1982 г., весна.

Гомельская обл., Речицкий р-н, с. Милоград. Наблюдатель Н. Д. Быковский. Болид летел почти с севера на юг и, не долетев до Земли, угас. Яркость болида очень велика, так как пришлось прищурить веки. Полет сопровождался шумом, наподобие шума сосен при ветре. От болида отлетали искры, и в момент их отделения был слышен треск (письмо Н. Д. Быковского от 14 мая 1982 г.).

327. 1982 г., весна, поздний вечер.

Красноярский край, Емельяновский р-н, пос. Маганск. Наблюдатель В. В. Лукашенко. Над головой раздался треск, «как рвешь крепкий материал», глянул на звездное небо — с северо-запада на юго-восток летел «огненный шарик», оставляя светлую полосу и кучи искр. Полет длился 1—2 с [7, с. 196].

328. 1982 г., 2—4 апреля, 15—18 ч.

Иркутская обл., Куйтунский р-н, пос. Новая Тельба. Наблюдатель Ерофеев. Раздался резкий треск, похожий на выстрел, по небу с шипением пролетел болид. После пролета болида остался след [7, 194].

329. 1982 г., 19 апреля, 20—21 ч.

г. Киев. Наблюдатель Д. М. Габович. Проснулась от непопятного сильного гула, похожего на шум от самолета. В окно увидела огненное тело, летевшее с юга на север над крышей дома. Гул был очень сильный с потрескиванием, как электрические разряды, удалялся. Дочь Габович тоже проснулась от сильного гула. Болид слышали многие жители этого же дома, но болида не видели. Это было в Русановке, но слышали болид и жители массива Нивки (письмо Д. М. Габович от 29 апреля 1982 г.).

330. 1982 г., 25 апреля, 9 ч 30 мин.

г. Куйбышев, дачная зона недалеко от Волги. Наблюдатели Л. В. Бойцова и ее дочь. Внезапно раздался резкий свист, постепенно усиливающийся. На высоте птичьего полета появились четыре

оранжевых пятна. В конце полета звук перешел в kloкочущий, напоминающий ржанье лошадей. Болид летел с северо-запада на юго-восток. Явление продолжалось 15—20 с (письмо Л. В. Бойцовой от 28 апреля 1982 г.)

331. 1982 г., 17 мая, 19 ч 13 мин.

г. Ереван. Наблюдатель А. Галачян. Метеорит с хвостом красно-голубого цвета при полете издавал шипение. Явление продолжалось около 1 с (письмо А. Галачяна от 11 сентября 1982 г.).

332. 1982 г., 1 августа, 00 ч 30 мин.

Место не указано. Наблюдатели И. Скобель и др. В западной части неба заметили пролет огненного шара в сопровождении гула, напоминающего падение спаряда. Был также слышен свист, который слышали даже после исчезновения болида (письмо И. Скобель и др. от 1 августа 1982 г.).

333. 1982 г., 3 августа, около 19 ч.

Краснодарский край, ст. Хаджиженская. Наблюдатель Р. Е. Лупинос. Увидела через окно сильное свечение, как при сильной молнии, но белое. Горящий предмет с длинным белым хвостом летел с востока на запад, издавая сильный шум. Явление продолжалось 1—2 с [7, с. 201].

334. 1982 г., 22 августа, 18 ч 15 мин.

Донецкая обл., г. Курахово. Наблюдатель Г. Г. Посметуха. Внезапно сверху появилось ярко-красное пятно, через доли секунды — хвост. Услышал короткие потрескивания, похожие на разряды при замыкании проводов. Болид летел полого к горизонту, освещая полнеба. Явление продолжалось 10 с. После пролета болида наблюдался след, исчезнувший через несколько минут [7, с. 200—201] (рис. 7).

335. 1982 г., 5—6 сентября, 19 ч.

Воронежская обл., с. Нов. Усмань. Наблюдатель А. В. Даниленко. Во время пролета болида были слышны звуки, напоминающие горение магния. Явление продолжалось около 2 с (письмо А. В. Даниленко от 4 сентября 1982 г.).

336. 1982 г., 18 ноября, 19 ч 05 мин.

Московская обл., г. Балашиха. Наблюдатель Т. В. Журкевич. Услышала нарастающий гул и свист. В это время на небе появилась ярко-красная полоса. После ее исчезновения послышался глухой стук (Архив КМЕТ).

337. 1983 г., 18 марта, 15 ч 08 мин.

Во многих пунктах Юго-Западной Австралии наблюдали многие лица. Болид вначале двигался медленно, потом все быстрее, с юго-востока на юг, блеск его возрастал. Будучи в 25° от горизонта, болид взорвался, осветив местность голубовато-зеленым светом. Блеск первой вспышки — $13 \div -14^m$. После этого он изменил цвет на бело-фиолетовый и на высоте 10° испытал новую вспышку до $-18 \div -20^m$, так что исчезли звезды, и разделился на много желтых, оранжевых и красных фрагментов, исчезнувших в 5° над южным горизонтом. Наблюдатели на юго-западе Австралии слышали громкие

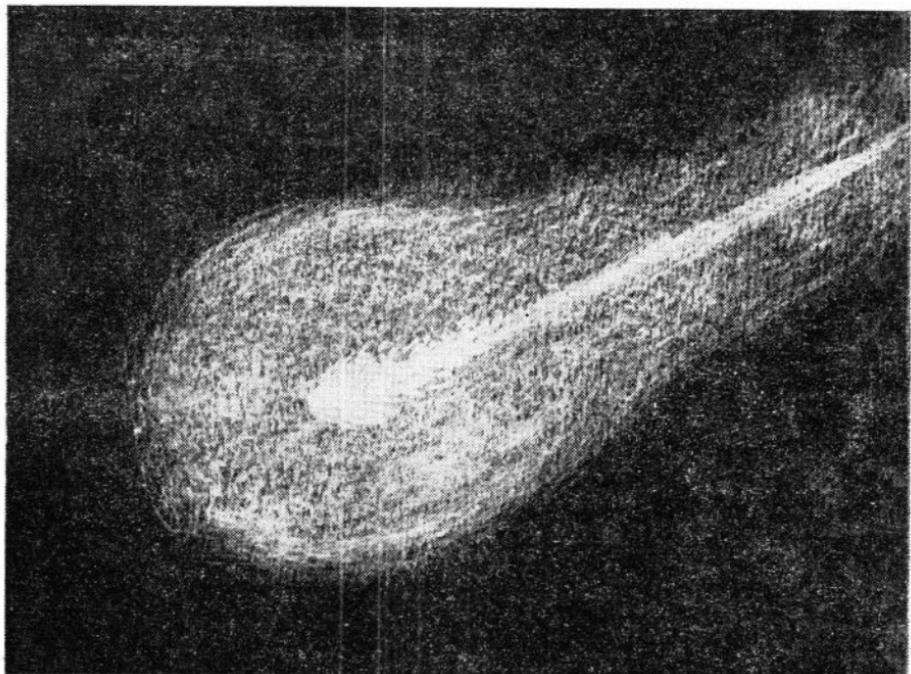


Рис. 7. Болид 22 августа 1982 г. Гало, окружающее болид, в поперечнике около 30° дуги (с рис. Г. И. Посметуха).

звуки типа хлопков и свиста непосредственно после вспышек и раскаты грома около 2 мин спустя [46].

338. 1983 г., 27 марта, 20 ч 40 мин.

Крымская обл., г. Судак. Наблюдатель И. П. Рогов. Блеск болида — 5^m , длина 60° , продолжительность $\sim 1,5$ с. Летел от созвездия Рака к созвездию Большого Пса. Наблюдатель болида сначала не видел, а почувствовал (появилась потребность повернуться), полет его сопровождался равномерным шелестом. Болид дробился. Звук исчез перед изменением траектории в конце (письмо В. В. Мартыненко от 31 марта 1983 г.).

339. 1983 г., 10 июня, 19 ч 35 мин.

Австралия, Новый Южный Уэльс, г. Энгадайн. Наблюдатель Т. Хэндли. Яркая вспышка, сопровождаемая электрофонным звуком, привлекла внимание наблюдателя к болиду, который летел прямо над головой. Болид был гораздо ярче Венеры, имел ширину $0,5^\circ$, раздробился на четыре части, последняя из которых исчезла в $45-50^\circ$ над горизонтом [46].

340. 1983 г., конец июня — первые числа июля, вечер.

Иссык-Кульская обл., с. Панфиловское в 80 км к западу от г. Фрунзе. Наблюдатель А. И. Мыцык. Сидя на крыльце дома, услышал шипение, как от зажигаемой спички, невольно повернул голову влево и увидел яркую вспышку с длинным шлейфом, сыпались

искры наподобие бенгальского огня, длилось это 2—3 с. Наблюдатель подчеркивает, что шипение он услышал раньше, чем увидел вспышку (письмо А. И. Мыцыка от 30 января 1984 г.).

341. 1983 г., 1 сентября, 17 ч 30 мин.

Полтавская обл., с. Ореховка. Наблюдатель В. Рыль (тогда 14 лет). Заметил на небе синее свечение, а через 2 с появился болид. Летел в течение 30 с с чуть слышным шипением. После пролета болид оставил светящийся след (Архив КМЕТ).

342. 1984 г., 4 февраля, 10 ч.

г. Курган. Наблюдатели Д. Сюкосев и А. Артемьев. Были на городской площади и увидели, как с юго-запада на них летит объект, похожий на комету. За объектом шел толстый, короткий хвост, прямой, исчезал на глазах. Был слышен звук, непохожий на звук самолета, как будто кто-то гудел в большом пустом помещении. Звук внезапно появился и через несколько секунд исчез. Блеск болида был как у полной Луны днем (письмо Д. Сюкосева и А. Артемьева от 5 февраля 1984 г.).

343. 1984 г., 26 февраля, около 14 ч.

г. Томск, Томская, Новосибирская, Кемеровская обл. Более 200 очевидцев. Яркий болид, привлечший всеобщее внимание. По темному ночному небу вдруг побежали яркие всполохи. Из них вырвался добела раскаленный шар с огненным шлейфом. Полет сопровождался несколькими яркими голубовато-зелеными вспышками. Затем последовала еще одна мощная вспышка и шар рассыпался на множество красных искр. От его света на нескольких улицах г. Томска сработала автоматика и погасли фонари уличного освещения. Многие очевидцы наблюдали сильные электрофонные явления: свист, шорох, шипение. В пос. Кайлушка перегорели электролампочки [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Анфиногенов Д. Ф., Фаст В. Г. Яркий болид на юге Сибири // Земля и Вселенная.— 1985.— № 3.— С. 72—75.
2. Аскарьян Г. А. Дистанционная генерация звука и электромагнитных полей быстрыми болидами и космическими телами в атмосфере // Письма в ЖТФ.— 1981.— Т. 7, вып. 21.— С. 1304—1307.
3. Астапович И. С. Звуковые явления, одновременные с полетом болидов // Метеоритика.— 1951.— Вып. 9.— С. 71—101.
4. Астапович И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли.— М.: Физматгиз, 1958.— 321 с.
5. Бронштэн В. А. Магнитодинамический механизм генерации радиоизлучения ярких болидов // Астроном. вестник.— 1983.— Т. 17, № 2.— С. 94—98.
6. Гребеников В. С. Странные голоса болидов // Вокруг света.— 1982.— № 4.— С. 32—35.
7. Гребеников В. С. Электрофонные болиды Сибири, Урала и Дальнего Востока // Метеоритные исследования в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1984.— С. 191—203.
8. Гребеников В. С. О физико-биологических свойствах гнездовых пчел-опылителей // Сибирский вестник сельскохоз. науки.— 1984.— № 3.— С. 111—113.

9. Гребенников В. С., Гребенников С. В., Золотарев В. Ф. Применение эффекта полостных структур в массовом разведении мегахил // Тезисы докладов Первой всесоюзной конференции по промышленному разведению насекомых.— М.: Изд-во МГУ, 1986.— С. 96—97.
10. Докучаев В. П. Электрический разряд при пролете метеоров в атмосфере Земли // Докл. АН СССР.— 1960.— Т. 131, № 1.— С. 78—81.
11. Зоткин П. Т. Болид над Уралом // Метеорная материя в атмосфере Земли.— М.: Наука, 1966.— С. 69—80.
12. Зоткин П. Т., Кринов Е. Л. Исследование условий падения каменного метеорита Никольское // Метеоритика.— 1958.— Вып. 15.— С. 82—96.
13. Иванов В. В., Медведев Ю. А. Магнитный эффект и ударная волна метеора // Астроном. журнал.— 1964.— Т. 41, № 6.— С. 1118—1127.
14. Иванов В. В., Медведев Ю. А. Об электрическом эффекте крупных метеорных тел // Геомagnetизм и астрономия.— 1965.— Т. 5, № 2.— С. 284—288.
15. Калашиников А. Г. О наблюдении магнитного эффекта метеоров индукционным методом // Докл. АН СССР.— 1949.— Т. 66, № 3.— С. 373—376.
16. Калашиников А. Г. Магнитный эффект метеоров // Изв. АН СССР. Сер. геофиз.— 1952.— № 6.— С. 7—20.
17. Кандыба Ю. Л. Результаты опросных работ в некоторых районах Западной Сибири // Метеориты Сибири.— Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1974.— С. 31—34.
18. Левин Б. Ю. Рецензия на брошюру П. Л. Драверта «Метеориты» (Омск, 1944) // Астроном. журн.— 1945.— Т. 22, № 5.— С. 312.
19. Любарский К. А. Статистическое изучение болидов // Метеоритика.— 1954.— Вып. 11.— С. 153—164.
20. Метеоритный бюл.— 1953.— № 7.— С. 1.
21. Метеоритный бюл.— 1955.— № 12.— С. 1.
22. Метеоритный бюл.— 1957.— № 2.— С. 1—2.
23. Метеоритный бюл.— 1961.— № 21.— С. 1.
24. Метеоритный бюл.— 1962.— № 25.— С. 2—3.
25. Метеоритный бюл.— 1963.— № 28.— С. 6.
26. Метеоритный бюл.— 1964.— № 32.— С. 5—6.
27. Метеоритный бюл.— 1969.— № 46.— С. 1.
28. Метеоритный бюл.— 1970.— № 49.— С. 1.
29. Невский А. П. Явление положительного стабилизированного электрического разряда и эффект электроразрядного взрыва крупных метеоритных тел при пролете в атмосферах планет // Астроном. вестник.— 1978.— Т. 12, № 4.— С. 206—215.
30. Ромиг М., Ламар Д. Аномальные звуки и электромагнитные явления, связанные с полетом болидов // Метеорная материя в атмосфере Земли.— М.: Наука, 1966.— С. 38—68.
31. Стиссон Т. Л. О болидах, наблюдавшихся в 1950—1952 гг. // Метеоритика.— 1954.— Вып. 11.— С. 177—179.
32. Федоров Л. А. Болиды, наблюдавшиеся на Урале // Метеоритика.— 1970.— Вып. 30.— С. 120—128.
33. Фонтон С. С. О падении каменного метеорита Еленовка // Метеоритика.— 1954.— Вып. 11.— С. 169—176.
34. Фонтон С. С. Исследование движения болида 13 июля 1950 г. // Метеоритика.— 1955.— Вып. 13.— С. 110—114.
35. Хлюстов Ю. Н. Влияние полета ярких метеоров на радиоприем // Бюл. ВАГО.— 1951.— № 10 (17).— С. 37—38.
36. Хутиноков Р. Л. Электрофонный болид в июле 1949 г. в Холотанском районе Туркменской ССР // Изв. АН Туркм.ССР.— 1955.— № 4.— С. 96.
37. Chapman S., Ashour A. Meteor geomagnetic effects // Smithsonian Contr. Astrophys.— 1965.— V. 8, N 7.— P. 181—197.
38. Elliott I. The fireball of 1981, July 30th. // Irish Astronom. J.— 1980.— V. 14, N 7-8.— P. 241.
39. Hawkins G. S. Radio noise from meteors // Nature.— 1958.— V. 181.— P. 1610.
40. Hawkins G. S. Electromagnetic emission from meteors // Radio Noise Spectrum.— Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1960.

41. Hoffmeister C. Das Tagesmeteor vom 6. Dezember 1957 // *Sterne.*— 1959.— V. 35, N 9-10.— S. 161—171.
42. Hoppe H. Der Meteoritenfall am 4.10.1973 im Bezirc Erfurt // *Astronomie und Raumfahrt.*— 1974.— N 5.— S. 143—146.
43. Jenkins A. W., Duvall B. W. A possible mechanism for magnetic effects from meteors // *J. Geophys. Res.*— 1963.— V. 68, N 2.— P. 599—600.
44. Keay C. Anomalous sounds from entry of meteor fireballs // *Science.*— 1980.— V. 210, N 4465.— P. 11—15.
45. Keay C. S. L. Audible sounds excited by aurorae and meteor fireballs // *J. Roy. Astronom. Soc. Canada.*— 1980.— V. 74, N 5.— P. 253—260.
46. Keay C. S. L. Electrophonic meteor fireballs // *Southern Stars.*— 1984.— V. 31, N 1.— P. 11—16.
47. Lamar D. L., Romig M. F. Electromagnetic effects associated with the San Francisco fireball of November 7, 1963 // *Meteoritics.*— 1965.— V. 2, N 4.— P. 301—310.
48. McIntosh B. A., Douglas J. A. V. The fireball of April 25, 1966. 1. Canadian visual observations // *J. Roy. Astronom. Soc. Canada.*— 1967.— V. 61, N 4.— P. 159—178.
49. Meteorites.— 1978.— N 3.
50. Meteorites.— 1979.— N 4.
51. Meteor News.— 1972.— N 13.
52. Meteor News.— 1977.— N 34.
53. Meteor News.— 1977.— N 36.
54. Mosh J. Beobachtung des detonierenden Boliden vom 4.10. 1973 und Answerfung // *Astronomie und Raumfahrt.*— 1974.— N 3/4.— S. 83—89.
55. *Nazional Zeitung.*— 1957.— Aug. 15.
56. Notes about fireballs and an unexpected shower // *Sky and Telescope.*— 1976.— V. 51, N 3.— P. 211—212.
57. Oleak H. Die Amateurbeobachtungen der streifenden Feuerkugel vom 14. Januar 1965 // *Sterne.*— 1966.— V. 42, N 5-6.— S. 91—99.
58. Olivier Ch. P. The Illinois fireballs of July 25, 1929 // *Popular Astronomy.*— 1931.— V. 39.— P. 524—526.
59. Pokrzywnicki J. O meteorycie Różana i zjawiskach towarzyszących jego przelotowi w atmosferze // *Acta Geophysica Polonica.*— 1955.— V. 3, N 2.— P. 62—77.
60. Pokrzywnicki J. O bolidach obserwowanych nad Polska // *Acta Geophysica Polonica.*— 1960.— V. 8, N 3.— P. 224—257.
61. Pokrzywnicki J. O bolidzie nad Polska w dniu 6 października 1959 roku // *Acta Geophysica Polonica.*— 1961.— V. 9, N 3.— P. 304—310.
62. Pokrzywnicki J. O bolidach obserwowanych nad Polska // *Acta Geophysica Polonica.*— 1965.— V. 13, N 3.— P. 207—215.
63. Pokrzywnicki J. O bolidach obserwowanych nad Polska // *Acta Geophysica Polonica.*— 1969.— V. 17, N 2.— P. 203—209.
64. Pokrzywnicki J. Meteoryty przy przelocie przez atmosferę i po spadku swym na ziemię // *Acta Geophysica Polonica.*— 1972.— V. 20, N 3-4.— P. 291—303.
65. Rybka E. Komunikat o spadku meteoru // *Urania (Polska).*— 1957.— V. 28, N 3.— P. 82.
66. Wylie C. C. The meteor of July 25, 1929 // *Popular Astronomy.*— 1929.— V. 37.— P. 514—519.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ТЕКТИТОВ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЧЕТВЕРТИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОМОРФОЛОГИИ ВЬЕТНАМА

Территория Вьетнама — лишь небольшая часть гигантского Австрало-Азиатского пояса выпадения тектитов, протянувшегося почти на 11 000 км с юго-востока на северо-запад от Тасмании и Австралии через Индонезию, Филиппины и Индокитай до Южного Китая включительно. На всем протяжении пояса тектиты, за некоторыми исключениями, сходны по составу и формам телец, по залеганию непосредственно близ земной поверхности и по радиологическому возрасту (чаще всего 0,6—0,7 млн лет). Пояс характеризуется продольной зональностью размещения тектитов разных размеров и форм и некоторыми общими чертами тонкой внутренней структуры, также продольной. Все эти факты свидетельствуют о том, что пояс является результатом единого события — грандиозного тектитового ливня. Точная датировка этого события является ключевой задачей для всей проблемы происхождения тектитов. Ее решению и посвящена данная статья.

Еще 10—15 лет тому назад весьма популярным было представление о внеземном происхождении Австрало-Азиатского поля выпадения тектитов, в пользу которого в первую очередь говорят грандиозные размеры самого пояса, отсутствие в его пределах ударных кратеров, заведомых импактитов и хоть каких-либо признаков концентрической зональности относительно возможного земного источника. Существенное значение имеет и баллистика [10]. Эти доводы в пользу внеземного происхождения австрало-азиатских тектитов до сих пор не опровергнуты. Они остаются в силе и поныне.

В последние 15—20 лет, однако, прочно утвердилось представление об образовании тектитов в результате грандиозных по масштабам и уникальных по своим последствиям ударов о Землю крупных метеоритов или комет. Главным и, по существу, единственным аргументом при этом служит тот факт, что тектиты почти по всем вещественным свойствам очень близки к земным осадочным породам, в особенности к таким, как лёсс, почвы или глинистые кварциты. С позиций «земной» гипотезы радиологический возраст тектитов (т. е. момент их выплавления и закалки) и геологический (т. е. момент выпадения на земную поверхность) должны полностью совпадать. Иная постановка вопроса нелепая. Именно поэтому в настоящее время практически общепринято, что тектитовый ливень над Австралией и Юго-Восточной Азией случился примерно 0,6—0,7 млн лет тому назад в соответствии с изотопным или трековым возрастом самих тектитов.

Между тем на протяжении уже более 30 лет австралийские геологи со всей возможной строгостью доказывают, что тектиты лежат

in situ в стратиграфически очень юных отложениях, возраст которых по ^{14}C равен 5—10 тыс. лет, но никак не 0,6—0,7 млн лет [2]. Этот феномен, получивший название *возрастного парадокса тектитов*, известен, как видим, уже достаточно давно. Авторы подтверждают его также на материале Вьетнама [1]. Возрастной парадокс — сильнейший и, на наш взгляд, неопровержимый аргумент в пользу внеземного происхождения тектитов. Если эта идея будет принята, то уже установленный факт чрезвычайно большого сходства тектитов с земными (и притом кислыми) горными породами с точки зрения сравнительной планетологии и космогонии приобретает новый смысл, заслоняемый сейчас господствующей «земной» импактной концепцией. Именно поэтому углубленное исследование данного парадокса в проблеме тектитов представляется задачей первостепенной важности.

Однако исследователи, изучающие тектиты, возрастной парадокс все еще игнорируют. Как правило, это люди, не знакомые с полевыми геологическими методами и не доверяющие аргументации геологов. Наша задача, следовательно, состоит в том, чтобы сделать геологическую аргументацию максимально строгой, доступной любой проверке и в конечном счете неопровержимой.

РАДИОЛОГИЧЕСКИЙ ВОЗРАСТ ТЕКТИТОВ

Возраст тектитов Австрало-Азиатского пояса установлен независимыми физическими методами: K/Ar , Ar/Ar , по трекам распада урана и в какой-то мере по термолюминесценции. Все методы дают сходные результаты: чаще всего порядка 0,6—0,7 млн лет [10]. Хорошая воспроизводимость результатов, полученных разными методами в различных лабораториях мира, служит гарантией достоверности имеющихся значений возраста стекол. Следует принять как аксиому факт, что «изотопные часы» действительно были «включены» несколько сотен тысяч лет тому назад в момент последнего расплавления тектитов и их последующей почти мгновенной закалки. Следует иметь в виду, что выше шла речь лишь об усредненных или наиболее частых значениях возраста. В последние годы, однако, стала накапливаться новая, более детальная и интересная информация. В Австралии, на Филиппинах и в Индокитае уже несколько раз были встречены тектиты с возрастом от 0,3 до 1,0 млн лет и более [2]. В ГЕОХИ АН СССР недавно был определен возраст тектитов из нашей коллекции трековым методом [4]. При этом выявились три дискретные группы тектитов со статистически значимыми различиями возраста: 0,4; 0,6 и 0,8 млн лет. Здесь мы сталкиваемся с еще одним проявлением того же парадокса, которое в соответствии с господствующими «земными» представлениями находит только одно объяснение: разновозрастные тектиты считаются продуктами разновременных импактных событий, происшедших по случайному, хотя и крайне маловероятному, совпадению в одном месте, но давших при

этом совершенно однотипные стекла. Далее будет показано, что такого рода объяснение нельзя считать сколько-нибудь обоснованным.

ПРОБЛЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО (ЗЕМНОГО) ВОЗРАСТА ТЕКТИТОВ

Эта проблема должна решаться независимыми, сугубо геологическими методами. В их числе на первом месте стоит стратиграфический, основанный на установлении точного возраста слоев, подстилающих и перекрывающих тектитоносный горизонт. Не менее важен геоморфологический метод, базирующийся на определении возраста форм рельефа, сформированных до и после выпадения тектитов. Наконец, поскольку речь пойдет о сравнительно недавних событиях, существенный вклад могут внести археологический и исторический методы. До сих пор для определения геологического положения тектитов Вьетнама перечисленные методы в полной мере не использовались. Причина в том, что стратиграфическому горизонту, содержащему тектиты, автоматически придавался возраст самих тектитов, т. е. 0,6—0,7 млн лет. По этому горизонту, маркирующее значение которого несомненно, и проводилась граница между ранне- и среднечетвертичными отложениями. На одной лишь этой посылке, по существу, строилась стратиграфия и вообще вся история четвертичного периода во Вьетнаме [5—7]. При этом не учитывалось, что принятая датировка отражает усредненное или же наиболее частое значение возраста самих тектитов и что на деле они представляют собой разновозрастные образования. Между тем очевидно, что безоговорочное принятие цифры 0,6—0,7 млн лет само по себе некорректно. Более того, к раннечетвертичному возрасту оказались отнесенными практически все четвертичные образования Вьетнама: отложения дельт, подавляющая часть покровных базальтов, бокситовых кор выветривания на них и вообще все латериты, положительные формы рельефа, включая 10-метровые надпойменные террасы. Выше тектитового горизонта оставались только приповерхностный слой лессовидных суглинков и маломощные грубообломочные отложения в дельтах.

В итоге получилось, что в последние более чем полмиллиона лет геологическое развитие региона как бы приостановилось: резко замедлилась седиментация в дельтах рек, хотя они на глазах переносят и отлагают огромные массы осадков; поднятие рельефа не превысило 10—15 м, хотя весь сильно расчлененный горный рельеф вообще начал расти сравнительно недавно — в конце неогена; почти прекратились процессы латеризации, хотя они, несомненно, продолжают и сейчас. Такого рода несоответствий в последние годы выявляется все больше. Они, однако, не являются отражением реальности, а целиком обусловлены ошибочными представлениями о сравнительно древнем возрасте тектитового горизонта. Поэтому необходимо пересмотреть как фактический материал, так и те общие посылки, на которые ранее опирались геологи-четвертичники во Вьетнаме.

Необходимо в этой связи подчеркнуть, что пока нигде в пределах Австрало-Азиатского пояса, как и во всех других тектитовых полях мира, тектиты не были найдены в слоях, стратиграфическая позиция которых соответствовала бы радиологическому возрасту самих тектитов [2]. Точно так же обстоит дело и во Вьетнаме. Здесь отложения с возрастом порядка $0,7 \pm 0,3$ млн лет находятся глубоко в основании дельтового разреза. Они нигде не выходят на поверхность и источником тектитов быть не могут. Древние поверхности выравнивания примерно того же возраста ныне приподняты на высоту 1,5—2 км над ур. м. Однако совершенно нереально предполагать, что именно с них происходил снос тектитов и затем их рассеяние на всех более низких поверхностях, исключая современную пойму и прибрежно-морскую равнину.

Таким образом, решение рассматриваемой проблемы сводится сейчас к альтернативе: или подтвердить реальность парадокса возраста тектитов (пути решения этой задачи разнообразны и уже достаточно ясны), или доказать одновременность формирования и выпадения тектитов на Землю (известны попытки положительного решения этой задачи на примере микротектитов, обнаруживаемых в кернах четвертичных морских осадков [8]). Однако, на наш взгляд, пока остается спорным вопрос о связи микротектитов с тектитами. Но главное, кажется непонятным и по меньшей мере странным, почему в вопросе о геологическом возрасте тектитов столько внимания уделяется морскому бурению, тогда как геологические наблюдения на суше практически игнорируются. Между тем именно на суше, в районах распространения типичных тектитов, сторонники земной концепции и должны найти доказательства своей правоты. Сколько-нибудь обнадеживающих путей такого решения проблемы мы сейчас не видим.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ТЕКТИТОВ ВЬЕТНАМА

Тектиты Вьетнама в подавляющем большинстве случаев лишены признаков переотложения или переноса, т. е. лежат на месте их выпадения — *in situ* [1]. Они распределены на площади неравномерно в виде обособленных ареалов или полос (рис. 1) и обнаруживаются на любых плоскостях выравнивания, начиная с надпойменной террасы высотой 10—15 м и кончая самыми высокими уровнями (более 2,5 км). На поверхности современной поймы и прибрежной равнины они отсутствуют (рис. 2). Эти факты отвергают возможность переноса и рассеяния тектитов с более высоких поверхностей как в настоящее время, так и в прошлом. Это значит, что тектиты выпали на Землю в то время, когда уровень нынешней надпойменной террасы представлял собой пойму, т. е. базисную эрозионную поверхность. Исходя из принятой в современной геоморфологической науке длительности формирования 10—15-метровых террас примерно 5—10 тыс. лет, нами и был ранее сделан вывод о весьма недавнем выпадении тектитов на Землю [1].

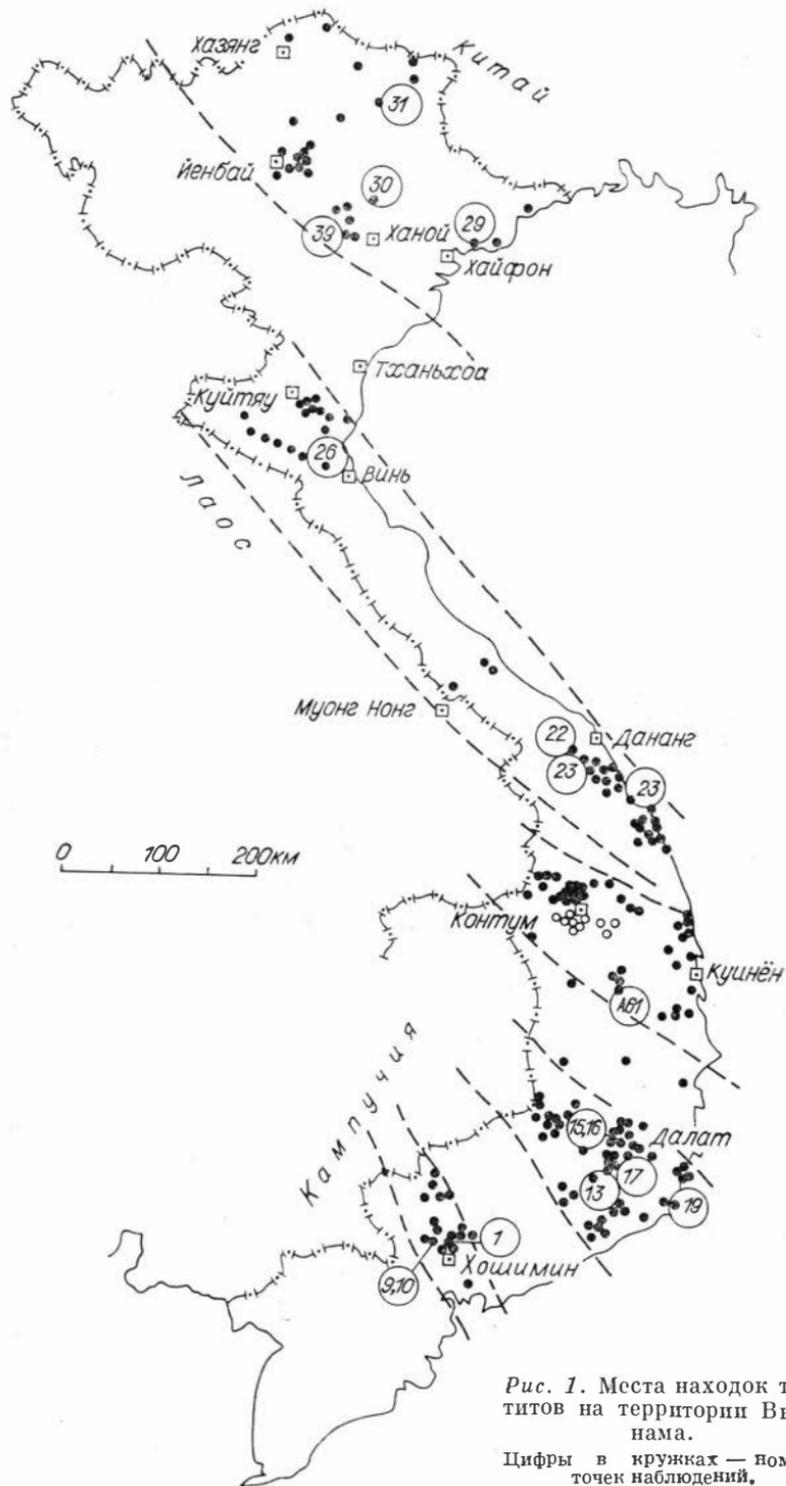


Рис. 1. Места находок тектитов на территории Вьетнама.

Цифры в кружках — номера точек наблюдений.

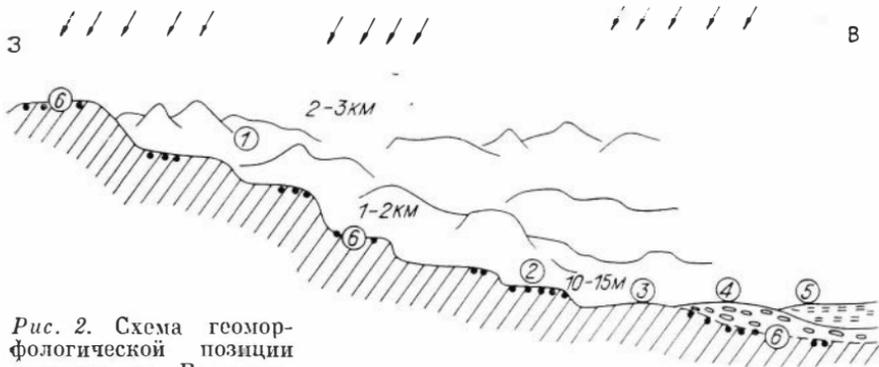


Рис. 2. Схема геоморфологической позиции тектитов во Вьетнаме.

1 — древние поверхности выравнивания; 2 — надпойменная терраса; 3 — современная пойма (абразивная поверхность); 4 — то же (аккумулятивная поверхность); 5 — уровень моря; 6 — положение тектитового горизонта. Стрелки вверх подчеркивают дискретность тектитового «ливня».

СТРАТИГРАФИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ТЕКТИТОВ ВЬЕТНАМА

Как и во всем Австрало-Азиатском поясе, тектиты во Вьетнаме на плоскостях выравнивания и террасах обнаруживаются только вблизи дневной поверхности, почти всегда под слоем мелкозема, который ранее мы называли просто почвой [1, 2]. Теперь этот слой изучен более детально: он оказался сходным с лёссом. Геолог Хоанг Нгок Ки доказывает принадлежность этого покровного слоя именно к лёссу, подчеркивая при этом парадоксальность его образования в условиях влажных тропиков (устное сообщение).

Приведем характеристики наиболее типичных разрезов, где тектиты были найдены нами непосредственно в обнажениях. Описания там, где не сделано оговорок, принадлежат Э. П. Изоху.

1. Карьеры в 18 км к северу от г. Хошимина близ шоссе в сторону г. Бьенхоа (точка 1 на рис. 1). Разрез ранее изучал главный геолог экспедиции № 6 Буй Фу Ми, который любезно показал его. Последовательность приповерхностных отложений здесь следующая (рис. 3).

В самом основании лёссового слоя найдено 10 разобренных кусковых тектитов типа Муонг-Нонг, столько же фрагментов капель и сфер, а также одна целая лепешка (диск). Все они лишены даже следов окатанности, сохранились тонкие детали первичной скульптуры, а также острые края фрагментов.

В лёссе по всему разрезу слоя встречаются кусочки древесного угля, особенно обильные вблизи подошвы. Здесь найдены гнездовые скопления до 10—15 см в диаметре, состоящие из разобренных кусочков угля размером до 3—4 см, сохранившие при этом структуру древесных стволов. Несомненно залегание угля *in situ*, и в этом отношении уголь, лёсс и тектиты равноправны. Присутствие угля удостоверяет именно субаэральный характер рассматриваемого слоя, т. е. отсутствие последующего размыва и переотложения.

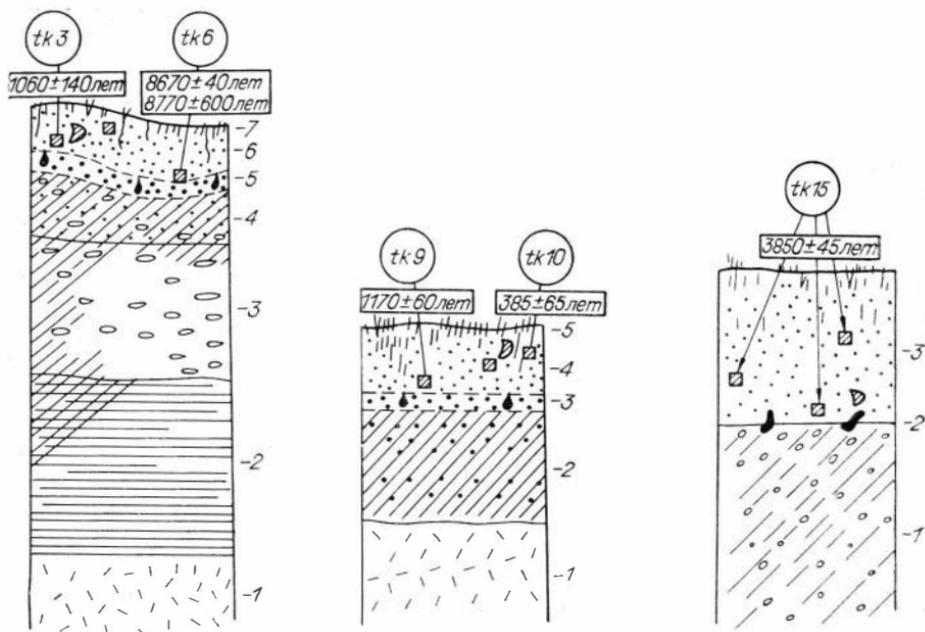


Рис. 3. Стрoение стенок карьеров в 18 км к северу от г. Хошимина.

1 — каолинизированные риолиты T_2 (?); 2 — белые тонкослойные глины N_2 , слабо латеритизированные, мощность 5—6 м, слагают первую надпойменную террасу. Галька хорошо окатана и разнообразна по составу; 3 — наверхозные латериты с остаточной галькой кварца и кремней, мощность 1 м; 4 — тектитовый горизонт (смесь латеритовых конкреций, формой и видом напоминающих фасоль, элювиальной щебенки кварца и лёсса), мощность 5—10 см; 5 — лёсс с включениями и гнездами угля, местами с керамикой, 0,3—1 м. Этот слой лежит на неровной поверхности латерита, следующей неровностям рельефа; 6 — гумусовый слой с корнями растений, мощность до 0,2 м.

Рис. 4. Стенка карьеров в 45 км к северо-западу от г. Хошимина.

1 — каолинизированные риолиты; 2 — слабосцементированные латеритовые конкреции, переходящие книзу в плотный латерит, мощность 2 м; 3 — тектитовый горизонт (смесь латеритовых конкреций и лёсса); 4 — лёсс с включениями угля и обломками керамики, мощность 0,5—1 м; 5 — гумусовый слой.

Рис. 5. Уступ рисового чека в черте г. Далата близ центральной школы.

1 — латериты по гранитам с обильной кварцевой дресвой; 2 — положение тектитов *in situ*; 3 — лёссовидный суглинок с кусочками угля и обломками керамики (0,4 м).

Проба угля Тк-6 из скопления в подошве слоя по ^{14}C имеет возраст 8670 ± 40 лет (определения ИГиГ СО АН СССР) и 8770 ± 600 лет (ГИН АН СССР)*. Кусочки угля, собранные в средней части слоя лёсса, значительно моложе: 1060 ± 140 лет. Тут же вместе с углем найдено большое число обломков керамической посуды с зеленой глазурью. Судя по этому, здесь когда-то находилось поселение, поэтому первичный лёсс был явно нарушен.

Следует обратить внимание на следующий очень важный факт. Тектиты и лёсс в описанном разрезе непосредственно лежат на аллю-

* См. статью В. А. Панычева, Л. А. Орловой, Э. П. Изоха, Л. Д. Сулержицкого в наст. сб.

виальных галечниках 10—15-метровой террасы. Последняя эквивалентна древнему аллювию р. Меконг, которым сложена поверхность дельтовой равнины. Тектиты на этой поверхности, по наблюдениям Ле Дык Ана, встречаются очень часто (см. рис. 1) и обычно также перекрыты почвой и лёссовидными суглинками. Под последними в двух местах на глубине 2 м на равнине были найдены остатки древесины с возрастом 7820 ± 240 лет (район д. Донгтхап, определено в Институте географии АН СССР, Москва) и 7330 ± 140 лет (район Читон, определено в Московском государственном университете). Таким образом, выпадение тектитов в дельте Меконга произошло не позднее 8—9 тыс. лет назад, но не ранее отложения галечников аллювиальной равнины р. Меконг и 10—15-метровой террасы.

2. Небольшие карьеры по добыче каолина в 12 км к западу — северо-западу от пос. Тхудаумот (45 км северо-западнее г. Хошимина) вскрывают, по наблюдениям Буй Фу Ми и Э. П. Изоха, разрез, изображенный на рис. 4. По всей мощности слоя распределены кусочки и скопления угля, в том числе сохранившие структуру древесных стволов. Возраст угля 1170 ± 60 лет (проба Тк-9) и 385 ± 65 лет (Тк-10). Здесь же есть глазурованная керамика. Карьеры расположены на окраине деревни. Люди здесь, как и во многих других районах Вьетнама, многие столетия жили на одном месте. Этим легко объяснить разный и притом сравнительно молодой возраст углей.

Из стенок карьера, т. е. непосредственно из горизонта латеритовых конкреций в самом основании лёсса, было извлечено пять обломков тектитов типа Муонг-Нонг, пемзовидных, очень хрупких, с остроигольчатым разломом, явно не испытывавших даже небольшого переноса. Залегание их на месте падения вряд ли может вызвать какие-либо сомнения.

3. г. Далат — одно из богатейших местонахождений тектитов во всем мире. Непосредственно в черте города и в его окрестностях местные жители постоянно находят, а некоторые специально собирают сотни тысяч тектитов правильной формы. Среди них есть капли-слезки (в том числе деформированные, имеющие вид грибков, ложек, крючков и т. п.), гантели, цилиндры, сферы, диски или лепешки, а также многочисленные фрагменты таких телец. Главным образом отсюда по разным музеям мира разошлись образцы вьетнамских тектитов. Некоторые образцы превышают по весу 150—200 г. Нам встречались обломки сфер, имевших когда-то диаметр более 10 см. Тектиты типа Муонг-Нонг также встречаются повсеместно, но обычно они сравнительно мелки и немногочисленны.

Лежат тектиты на плоских поверхностях или на пологих склонах холмов, т. е. на поверхностях выравнивания с абсолютными отметками 1400—1600 м. Город целиком расположен в пределах массива гранитов мелового возраста. В уступах дорог и рисовых чеков, в карьерах, строительных выемках — везде наблюдается один и тот же разрез (рис. 5, 6). Тектиты лежат в основании лёсса на латеритах или же непосредственно на гранитной дресве. Поскольку слой лёсса относительно тонкий, тропические ливни периодически размы-

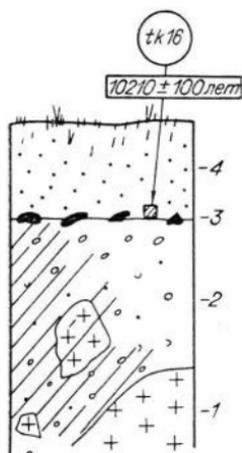


Рис. 6. Уступ проселочной дороги близ северной окраины г. Далата.

1 — глыбы и коренные выходы гранитов; 2 — гранитная дрова, частично латеритизированная; 3 — уровень залегания тектитов; 4 — лёсс со скоплениями угля в основании, мощность 0,2—0,5 м.

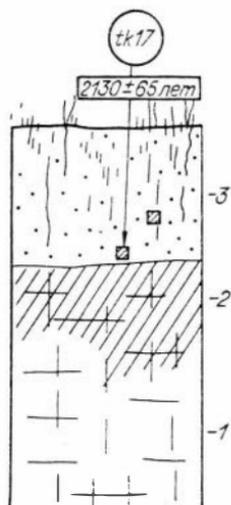


Рис. 7. Дорожная выемка напротив водопада Прен, к югу от г. Далата.

1 — базальт; 2 — то же, частично латеритизированный, мощность 0,5 м; 3 — красно-бурый лессовидный суглинок с кусочками угля, мощность 0,5 м.

вают его, и источник тектитов, несмотря на постоянные сборы, не иссякает. Лессовый слой, например, легко продавливается даже колесами автомашин, и тогда в колеях вскрывается тектитовый горизонт.

В лессовом слое часто видны кусочки угля, иногда гнездовые его скопления. Проба Тк-15, взятая непосредственно внутри города в уступе рисового чека, дала возраст 3850 ± 45 лет. Здесь же были найдены черепки глиняной посуды (см. рис. 5). Проба Тк-16, в отличие от предыдущей, была взята на плоском холме, покрытом сосновым бором, за пределами городской черты, т. е. в обстановке, где возможности нарушения поверхностного слоя человеком были минимальными. Возраст угля оказался равным 10210 ± 100 лет. Это максимальная полученная нами дата. В обоих местах тектиты и фрагменты телец в изобилии обнаруживаются на гранитной дрове или на латеритах непосредственно в основании лёсса.

4. Водопад Прен (Да Прен), 10 км к югу от г. Далата. В выемке шоссе прямо напротив туристической стоянки вскрыты свежие базальты со столбчатой отдельностью, которые лишь у самой поверхности латеритизированы по отдельным зонам вдоль вертикальных и горизонтальных трещин отдельности (рис. 7). На базальтах лежит слой лессовидных суглинков, комковатых, со скоплениями древесного угля с возрастом 2130 ± 65 лет (проба Тк-17).

Покров базальтов здесь на последней сводной геологической карте Вьетнама масштаба 1 : 500 000 помечен индексом Q_{2-3} , т. е. они отнесены к послетектитовой эпохе, что согласуется с их составом (принадлежностью к группе относительно поздних оливиновых, но

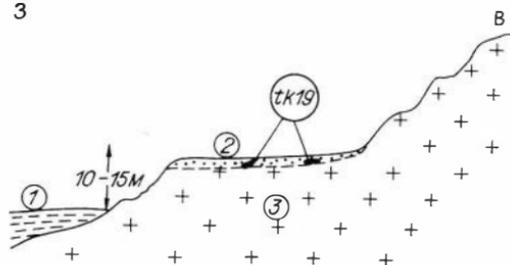


Рис. 8. Схема залегания тектитов на мысе Кана.
1 — море; 2 — цокольная морская терраса; 3 — граниты K_2 .

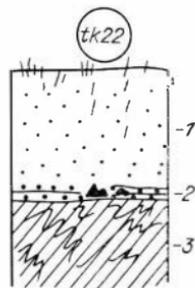
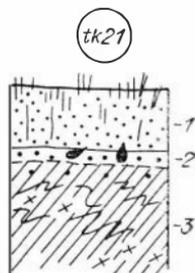


Рис. 9. Стенка карьера в 15 км к юго-западу от г. Дананга у д. Дайлок (вверху) и промоина на склоне холма в 10 км к западо-юго-западу от г. Дананга (внизу).

3 — латеритизированные докембрийские кристаллические сланцы и граниты; 2 — горизонт латеритовых конкреций и щебенки с тектитами (0,2—0,3 м); 1 — палевоый лёсс (0,5—1 м).

не более ранних толентовых базальтов), слабой латеритизацией и, как предполагалось до сих пор, отсутствием тектитов на них. Тем не менее после недолгих поисков нами непосредственно на базальтах, на вспаханном поле был найден тектит в форме неокатанной «лешки» с превосходно сохранившейся скульптурой. По словам живущих здесь крестьян, такие находки вполне обычны. Таким образом, принятый ранее тектитовый критерий отнесения базальтовых покровов к Q_1 или к Q_{2-3} оказывается непригодным.

5. Мыс Кана, морское побережье к югу от г. Фанранг (рис. 8). Несколько правильных капель и сфер тектитов найдены на поверхности 10—15-метровой цокольной (абразионной) морской террасы, сложенной поздне меловыми гранитами. Тектиты лишь слегка присыпаны песком донного происхождения. Они имеют слабые следы переноса: слегка сглаженную скульптуру, матовую поверхность и т. п.

6. Юго-западнее г. Дананг мелкие обломки тектитов типа Муонг-Нонг и редкие фрагменты правильных телец были найдены в позиции, показанной на рис. 9. Тектиты лежат на поверхности пологих холмов высотой от 10—12 до 15—20 м на окраине прибрежной равнины, на переходе к низко- и среднегорью. Тектиты не окатаны, покрыты маломощным слоем лесса, который в равной мере развит как на плоских вершинах холмов, так и на пологих их склонах в виде плаща. Как обычно, они приурочены к горизонту мелких бобовидных латеритовых конкреций с мелкой кварцевой щебенкой. Ниже залегают латеритизированные кристаллические сланцы и гнейсы докембрия.

7. 11 км к северо-западу от г. Тамки (100 км южнее г. Дананг) близ шоссе № 1 на плоском холме высотой 12—15 м, возвышающемся среди прибрежной равнины (современной поймы), обнажаются

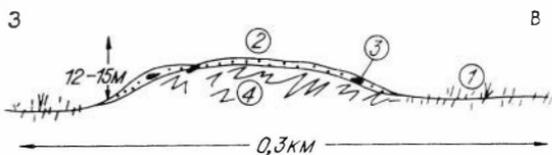


Рис. 10. Схематический разрез холма в 11 км к северо-западу от г. Тамки.

1 — уровень прибрежной равнины (современная пойма); 2 — слой палевого лёсса, облегающий поверхность холма; 3 — положение тектитов; 4 — латеритизированные породы докембрия.

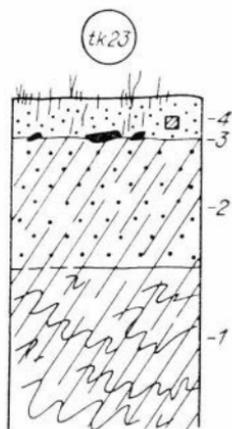


Рис. 11. Расчистки на вершине холма в 11 км к северо-западу от г. Тамки. 1 — латеритизированные слюдяные сланцы; 2 — сыпучие или слабосцементированные конкреции (3—4 м); 3 — горизонт тектитов с крупными обломками типа Муонг-Нонг; 4 — палеовый лёсс (0,2—0,4 м).

сильно латеритизированные докембрийские слюдяные сланцы, перекрытые горизонтом слабосцементированных конкреций. На последних в виде облегающего весь холм плаща лежит слой желто-бурого лёсса, в большинстве случаев перемешанного с конкрециями, изредка — с кусочками древесного угля (рис. 10, 11). Непосредственно под лёссом Э. П. Изох и Г. Б. Горбан обнаружили бесформенные обломки тектитов типа Муонг-Нонг, в том числе весом до 150 г. Именно такие тектиты преобладают в данаигском ареале [1].

8. На морском побережье между г. Данаиг и Фантхиен на протяжении более 600 км широко распространены позднечетвертичные береговые дюны, среди которых Ле Дык Ан выделяет несколько генераций (рис. 12). В самых низах разреза лежат красноватые дюнные пески. Они моложе, чем террасы высотой 60—80 м, но старше чем 10—12-метровая аккумулятивная терраса р. Лонгсонг, которая в эти пески вложена. Более поздними являются желто-бурые, затем белые (наиболее распространенные), и, наконец, желтоватые пески,

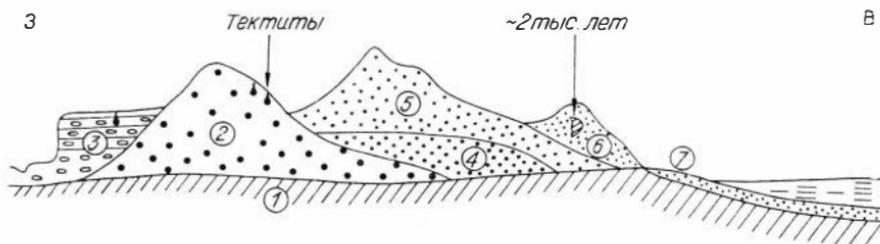


Рис. 12. Схема соотношения береговых дюнных песков в Южном Вьетнаме.

1 — породы докембрия — палеогена, местами морские отложения N_2-Q_2 ; 2 — красноватые пески Q_3 ; 3 — аккумулятивная вложенная терраса р. Лонгсонг высотой 10—12 м; 4 — желто-бурые пески; 5 — белые пески Q_3 ; 6 — желтоватые пески Q_4 ; 7 — то же, современные пляжи.

слагающие наиболее молодые дюны и современные пляжи. Тектиты были встречены только в самых ранних красноватых песках, а также на 10—12-метровых террасах. В более поздних дюнах, судя по специально предпринимавшимся поискам, тектиты уже не встречаются. В самых верхних желтоватых песках известна археологическая стоянка культуры Ша Гюнь с возрастом около 2 тыс. лет. Таким образом, время выпадения тектитов примерно отвечает возрасту надпойменной террасы: после красноватых, но до желто-бурых песков, т. е., по оценке Ле Дык Ана, около 10 000 лет.

9. В южной части Северного Вьетнама, в 10 км к северо-западу от пос. Намдан (30 км к западу-северо-западу от г. Винь), располагается одно из наиболее богатых местонахождений тектитов типа Муонг-Нонг. Открывшие его в 1983 г. вьетнамские геологи вывезли отсюда более 100 кг тектитов. Тектиты усеяна поверхность пологих холмов, лишенных растительности, возвышающихся над прибрежной равниной на 20—30 м и постепенно переходящих в низкогорье. В мелких карьерах, откуда берут латеритовые «кирпичи» для строительства, вскрыт разрез (рис. 13). Возраст угля 1215 ± 110 лет. Лессовидный слой очень тонкий (0,2—0,5 м), он равномерно облекает склоны, часто смыт, и на поверхности холмов остаются латеритовая «сыпучка» и обильные тектиты, резко выделяющиеся на красно-бурым латеритовом фоне. Их легко видеть и в стенках карьеров, но притом только в маломощном горизонте конкреций.

Тектиты в подавляющей части представлены типом Муонг-Нонг, отдельные куски их достигают 0,5 кг. Наиболее характерны лавоподобные слоистые тектиты, однородные или же со слоями и пятнами беловатой или желтоватой плотной пемзы, более всего похожие на кислые стекла астроблемы Жаманшин [3]. Встречаются также хрупкие и легкие черные пемзы такого же состава. Менее распространены фрагменты телец, еще более редки сами тельца, обычно в форме вытянутых капель и сфер. По формам, размерам и характеру площадного распространения тектитов данный ареал очень схож с данангским. Можно предполагать, что оба ареала принадлежат к одной протяженной полосе выпадения тектитов (см. рис. 1).

10. Район г. Хонггай (5—6 км от города) на крайнем северо-востоке страны, севернее г. Хайфон. Широкое распространение тектитов здесь было установлено лишь в самые последние годы. Преобладают небольшие (до 2—3 см) сферы, вытянутые капли и их фрагменты. Именно такие тектиты были найдены нами в двух местах (рис. 14, 15). Они залегают выше сравнительно слабо латеритизированных конгломератов, гравелитов и песчаников неясного возраста, но ниже слоя лёссовидных суглинков. Последние плащом облекают холмы высотой 15—20 м над уровнем моря (10—12 м над прибрежной равниной) и покрывают также 12—15-метровую морскую террасу. В одном месте на вершине холма у самой поверхности найден уголь с возрастом 1435 ± 35 лет.

11. Район пос. Нафак, у шоссе Баккан — Каобанг (север страны). Речная терраса, рассекаемая дорожной выемкой, высотой 12—15 м имеет разрез, изображенный на рис. 16. В основании лёсса найдено несколько остроугольных фрагментов тектитов.

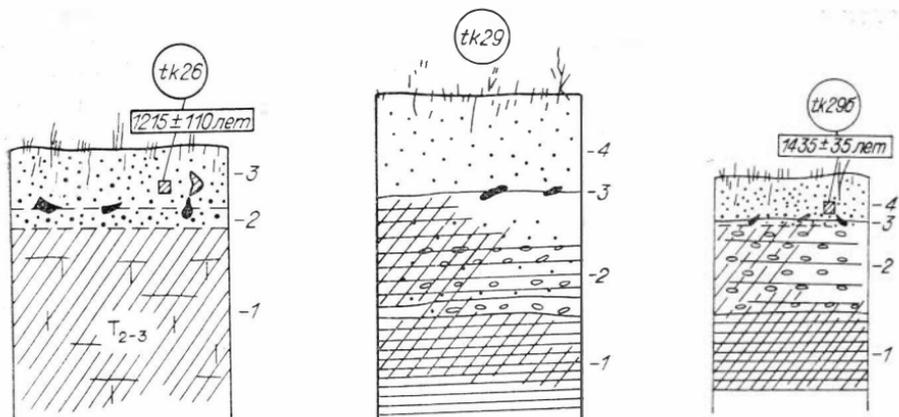


Рис. 13. Уступ карьера в 10 км к северо-западу от г. Намдана.

1 — плотные латериты по песчанкам и сланцам T_{2-3} ; 2 — горизонт латеритовых конкреций с обильными тектитами (10—20 см); 3 — палевый лёсс с кусочками угля, местами с керамикой (0,1—0,5 м).

Рис. 14. Выемка шоссе Хайфон — Хонггай, морская терраса высотой 12—15 м.

1 — белые и кирпично-красные глины; 2 — слабосцементированные песчанки и гравелиты неясного возраста, пятнисто-латеритизированные, мощность 1,5 м; 3 — положение тектитов; 4 — бурые суглинки, мощность 1 м.

Рис. 15. Промоины на вершине холма высотой 15—20 м близ г. Хонггай.

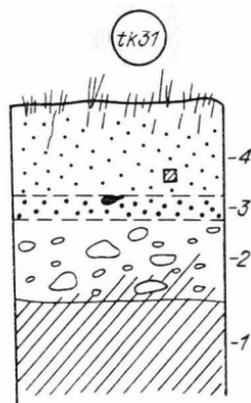
1 — белые глины; 2 — галечники, частично латеритизированные, мощность 1,5 м; 3 — горизонт мелких конкреций и тектитов, мощность 0,2 м; 4 — палевый лёсс, мощность 0,3—0,4 м, с обломочками угля.

Приведенные выше примеры относятся к плоскостям выравнивания, в том числе к речным и морским террасам. Число примеров можно было бы значительно увеличить, однако в этом нет необходимости. Судя по опыту авторов, тектиты во Вьетнаме в областях воздымания везде, начиная с юга и кончая крайним севером страны, т. е. на протяжении более 2500 км, занимают примерно одну и ту же геологическую позицию: на границе между лёссовидным покровным слоем и нижележащими, в той или иной мере латеритизированными образованиями любого возраста — от гнейсов раннего докембрия до позднечетвертичного аллювия.

Тектитоносный горизонт чаще всего представлен мелкими латеритовыми конкрециями размером от 0,5 до 2 см, иногда щебнем кварца, кремней и других устойчивых к выветриванию

Рис. 16. Уступ дороги и канавы на склонах холма близ пос. Нафак у шоссе Баккан — Каобанг.

1 — латериты по песчанкам и сланцам T_2 ; 2 — валунно-глибовый аллювий 15-метровой речной террасы, мощность 1 м; 3 — горизонт элювиального щебня с тектитами, мощность 0,1 м; 4 — палевый лёсс, мощность 0,75—1 м.



пород и минералов, а нередко — смесью того и другого материала. В этом горизонте обычно содержится также и лёсс. Состав рассматриваемого горизонта зависит от состава нижележащих пород. Например, конкреции, представляющие собой одну из стадий латеритизации, обильны на латеритах и отсутствуют там, где подстилающие породы не подверглись латеритизации. Щебенка кварца характерна для латеритизированных песчанико-сланцевых отложений и некоторых эффузивов, пронизанных системами кварцевых жил, щебенка кремней — для некоторых карбонатных толщ, зерна кварца — для гранитной дресвы, кристаллы турмалина — для пегматитовых жил и т. п. Таким образом, горизонт, к которому приурочены тектиты, сложен перемещенным (местным) материалом, который может быть назван грубым элювием.

По полевым наблюдениям и приведенным выше описаниям может сложиться впечатление, что тектиты везде падали прямо на этот грубый элювиальный слой, лишенный растительности и почвенного покрова. На деле, по-видимому, это происходило не так просто, как кажется с первого взгляда. В частности, кое-где в основании лёсса непосредственно под ним встречаются мелкоземы, обогащенные иногда гумусовым веществом и тогда похожие на захороненные почвы. В таких ситуациях можно полагать, что тектиты падали на почву, перекрывающую элювий. Тот и другой материал затем был перемешан, причем от былой растительности остался один только устойчивый к разложению древесный уголь. В других случаях вполне можно предполагать, что почвенный слой в самом деле был снесен воздушными вихрями как во время тектитового ливня, так и после него — во время пылевых бурь, отложивших лёссовый покров. Вопрос этот нуждается в дальнейшем изучении.

Тогда, когда тектиты удается увидеть непосредственно в коренном залегании, они чаще всего лежат в верхней части элювиального горизонта, на самой границе с лёссом. Проще всего их находить там, где покровный слой снят земляными работами или смыт тропическими ливнями, в то время как нижележащий латерит еще не затронут. Поэтому хорошим поисковым признаком тектитов служат лежащие на поверхности латеритовые конкреции и щебень. Непосредственно в стенках обнажений или карьеров шанс найти тектиты невелик, так как они не образуют скоплений, а их отдельные тельца или обломки разделены обычно расстояниями в несколько или десятки метров. Исключениями являются лишь такие особенно богатые тектитами места, как г. Далат, район г. Намдинь и др. На поверхности лёсса, внутри него, а также в подстилающих латеритах тектитов не бывает. Кстати, отметим, что сами тектиты практически не подвергались латеритизации, признаки которой заметны лишь иногда на острых «гребнях» слоистых тектитов типа Муонг-Нонг. Это — лишнее свидетельство очень юного земного возраста тектитов, тем более что причины, препятствующей их латеритизации, в принципе не должно быть.

Тектиты, лежащие в основании лессового слоя, в том числе фрагменты телец, обычно не имеют свежих сколов, т. е. следов дробления

после выпадения на Землю. Поверхности былых сколов у фрагментов телец или у обломков тектитов типа Муонг-Нонг обычно матовые, без малейших признаков протравливания грунтовыми водами, нередко — с признаками такой же скульптуры обработки газами, как и на первичной поверхности тектитов. Это позволяет предполагать, что дробление тектитов происходило еще до выпадения их на земную поверхность. Связывать широкое распространение обломанных телец и их фрагментов с ударом о Землю, а тем более с их транспортировкой на земной поверхности нет основания.

Образцы лессового слоя детально изучаются. Судя по полевым наблюдениям, этот слой, несомненно, имеет региональное распространение, т. е. развит на всей территории Вьетнама, а судя по отрывочным литературным данным, и далеко за его пределами. Цвет лёсса чаще всего желтоватый (палевый), нередко с бурым или красноватым оттенком, особенно в районах развития рыхлого латерита на поверхности (например, на базальтах). Порода лишена слоистости, пористая, легко разбивается молотком, но при этом не рассыпается; в обнажениях образует отвесные стенки и уступы. Преобладает пылевая фракция, при растирании рукой ощутимо небольшое количество алевритового материала. Рассматриваемый слой облекает неровности рельефа и склоны пологих холмов. Все эти признаки говорят о том, что мы имеем дело либо с настоящим лёссом, либо с очень близкой к нему породой явно субаэриального происхождения, скорее всего отложенной пыльными бурями.

Частое присутствие в лёссе кусочков и гнезд древесного угля, залегание на элювии и ряд других признаков свидетельствуют о том, что он не был переотложен водными потоками, т. е., как и тектиты, залегает *in situ*. Вместе с тем следует помнить, что лессовидный слой имеет мощность обычно не более 1—2 м (чаще всего до 0,5—1 м) и лежит непосредственно у поверхности. За счет него развиваются гумусовый слой и собственно почва. Естественно, что на нем легко сказываются как деятельность человека, так и различные природные факторы, особенно такие, как перемешивание лёсса и почвы корнями деревьев при ветровалах или лесных пожарах, при выкорчевывании джунглей и последующем возделывании полей. Именно такими причинами, видимо, и следует объяснять полученные разнообразные значения возраста угля из лессового слоя, варьирующие от 10 000 до 385 лет.

Самые древние даты порядка 8—10 тыс. лет, по-видимому, можно считать близкими ко времени и выпадения тектитов, и формирования лёссов. Сколько-нибудь значительный перерыв во времени между двумя этими событиями крайне маловероятен. И уж вовсе невероятна, исходя из вышеуказанных соображений, длительность такого перерыва почти в 0,5 млн лет, если следовать земной гипотезе происхождения тектитов.

Сонахождение лёсса и тектитов во Вьетнаме не повсеместно и, видимо, не всегда обязательно. В частности, в промежутках между отдельными ареалами или полосами распространения тектитов, где тектитовый ливень прошел стороной, все поисковые при-

наки тектитов (конкреции, элювиальный щебень, лёсс, уголь) недействительны. В таких местах поиски тектитов даже на самых хороших площадках и расчистках безуспешны.

В ряде районов, например в окрестностях г. Каобанг и Нгуенбинь, близ северной границы с Китаем, лёссовый слой отсутствует; на поверхности развиты рыхлые латериты, а также мощные (до 10 м) ярко-желтые или кирпично-красные суглинки, местами явно перетолженные. Этот район располагается внутри обширного ареала выпадения тектитов (см. рис. 1), но тем не менее поиски тектитов, несмотря на обилие благоприятных поверхностей и площадок, не привели к успеху. Нет здесь и характерного горизонта элювия с конкрециями и щебенкой. Видимо, такая картина обусловлена либо недавней интенсивной площадной эрозией, либо какими-то другими причинами, выяснение которых должно быть задачей дальнейших исследований. Надо сказать, что картирование и выяснение особенностей регионального распространения тектитового горизонта и лёссового слоя само по себе является интереснейшей задачей, разработка которой дает возможность весьма строго и объективно судить о геологическом развитии территории Вьетнама на протяжении всего голоцена.

НИЖНЯЯ ВОЗРАСТНАЯ ГРАНИЦА ТЕКТИТОВОГО ГОРИЗОНТА

В предыдущем разделе шла речь преимущественно о верхней возрастной границе, которая везде оказывается не старше 8—10 тыс. лет. По ряду весьма серьезных, но все же косвенных соображений, как показано выше, эта граница вообще вряд ли может быть заметно более древней. Тем не менее задача прямого определения нижней границы не снимается с повестки дня, однако решить ее значительно труднее. Дело в том, что на террасах и поверхностях выравнивания ниже тектитового горизонта обычно широко развиты латериты или же глубоковыветрелые породы, в которых уголь или остатки фауны и флоры, пригодные для определения возраста, не сохраняются. Более благоприятны для решения данной задачи молодые речные террасы, на которых тектитовый горизонт подстилается малоизмененными галечниками, песками, а иногда и глинами. Эти отложения сейчас индексируются как N_2-Q_1 на основании одного лишь расположения их под тектитовым горизонтом. В них вполне могут быть обнаружены споры, пыльца или микрофауна, пригодные для датировки возраста, однако в этом плане отложения практически не изучались.

Более полна геологическая летопись в областях погружения и продолжающегося осадконакопления, т. е. в речных дельтах и на шельфе. К сожалению, разрезы остаются еще очень слабо изученными с точки зрения интересующего нас вопроса. Известные нам немногие сведения сводятся к следующему.

1. Давно уже известна находка в черте г. Хошимина (в то время г. Сайгона) мелкого тектита в скважине на глубине 40 м

от поверхности среди наиболее поздних (голоценовых) аллювиальных галечников [12].

2. В 8 км к югу от г. Хошимина в аналогичных галечниках, но уже на глубине 160 м, т. е. стратиграфически ниже, геолог Хо Чинь нашел в керне остатки древесины с возрастом $27 \pm 0,5$ тыс. лет (определено в ГИН АН СССР, Москва).

3. В 35—40 км к северо-западу от г. Хошимина в таких же галечниках на глубине 63,7—65,3 м Хо Чинь нашел древесину с возрастом $34,4 \pm 2$ тыс. лет.

Таким образом, гипсометрически и, следовательно, стратиграфически ниже тектита, найденного Е. Сореном [12], галечники имеют возраст не древнее позднечетвертичного.

4. На окраине Ханойского прогиба (дельты р. Красной) близ пос. Унби (севернее г. Хайфона) Ле Дык Ан наблюдал тектитовый горизонт непосредственно в разрезе песчаных речных отложений на глубине всего лишь около 10 м от поверхности. Если иметь в виду, что общая мощность четвертичных отложений в данном прогибе измеряется километрами, то этот факт не может не свидетельствовать в пользу очень юного земного возраста тектитов.

Таким образом, тектитовый горизонт повсеместно приурочен к самым верхам разреза четвертичных отложений. В дельте р. Меконг он с высокой долей вероятности оказывается в «возрастнойвилке» между углеродными датировками 8—9 тыс. лет и 27—34 тыс. лет. Тем самым для представлений о раннечетвертичном земном возрасте тектитов в свете всех имеющихся стратиграфических данных нет оснований. Тем не менее исследования по определению нижней возрастной границы в дальнейшем должны быть продолжены, чтобы исключить любые сомнения.

ПРОБЛЕМА НАЗЕМНОГО ПЕРЕНОСА И РАССЕЯНИЯ ТЕКТИТОВ

Эта проблема представляется нам искусственной, так как возникла она исключительно из-за того, что исследователи, записавшиеся тектитами, пытались разрешить возникший возрастной парадокс, предполагая в этой связи вымывание тектитов из более древних отложений и последующий их разнос по земной поверхности. Авторы данной статьи предлагают снять с серьезного обсуждения данную проблему, как не имеющую фактических оснований. Главные доводы следующие.

Тектиты крайне редко встречаются как в современных, так и в более древних аллювиальных галечниках. Упомянутая выше находка Е. Сорена представляется уникальной. Не исключено, однако, что найденный им тектит не переотложен, а лежит на границе отложений Q_3 и Q_4 in situ. В делювиальных отложениях на склонах гор и крутых холмов тектиты также чрезвычайно редки, находки их единичны даже в тех местах, где на вышерасположенных плоскостях выравнивания они весьма обильны, например в районе

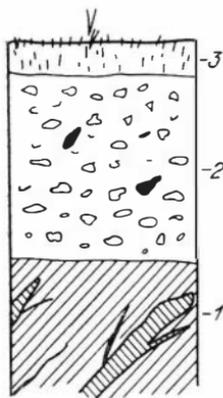


Рис. 17. Уступ 10—12-метровой речной террасы у моста Дайнинь около шоссе Хошимин — Далат.

1 — латериты по юрским песчаникам и сланцам, пронизанным кварцевыми жилами; 2 — пролювиальные щебни с тектитами, мощность 2 м; 3 — лёсс, мощность 0,3 м.

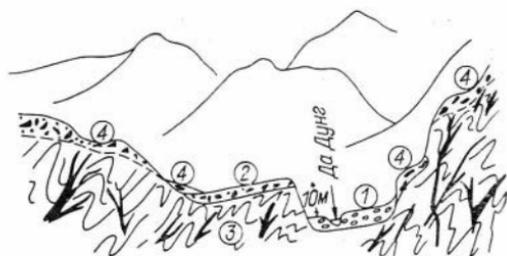


Рис. 18. Схема строения долины р. Дадунг.

1 — современный аллювий; 2 — пролювиальный щебень с тектитами; 3 — юрские отложения с сохранившимися при латеритизации жилами кварца; 4 — делювиальные отложения склонов.

Тектиты, по существу, исчезают в массе перетотлаемого материала коренных пород. И лишь в «законсервированной» от эрозии обстановке — на относительно плоских поверхностях выравнивания, под слоем лёсса — они остаются практически на том же месте, где выпали на Землю.

Таким образом, не может быть и речи о вымывании тектитов из какого-то другого (более древнего) источника и тем более о строго избирательном (без сопровождения обломками других пород) их переносе и рассеянии на обширных площадях.

Имеются вместе с тем вполне достоверные примеры перемещения и переноса тектитов, на которых следует остановиться.

1. Возле автомагистрали между городами Баолок и Далат, у моста Дайнинь (около 50 км к юго-западу от Далата) Ле Дык Апом и Э. П. Изохом в разное время и независимо друг от друга был описан один и тот же разрез 10—15-метровой цокольной террасы р. Дадунг (одного из истоков р. Донгнгай) (рис. 17, 18). Терраса «вырезана» в юрских песчано-глинистых отложениях, превращенных в красные латериты. На них лежит слой слабосцементированного щебня мощностью от 2 до 3 м, перекрытый топким слоем лёсса. Непосредственно в щебне в коренном залегании видны тектитовые тельца, главным образом вытянутые капли и сферы, их фрагменты, а также единичные обломки пемзовидных стекол типа Муонг-Нонг. Тектиты слабо окатаны, их скульптура лишь слегка сглажена, сохраняется угловатость фрагментов. Обломки щебня представлены исключительно кварцем, аналогичным тому, который здесь же слагает многочисленные жилы в юрских песчаниках и сланцах. Обломки угловатые или полуугловатые, слабоокатанные. Других пород здесь нет, и по этому признаку рассматриваемые щебни

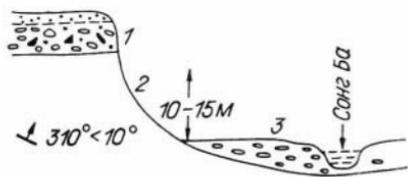


Рис. 19. Разрез надпойменной террасы р. Сонгба у моста Дайнинь. 1 — пролювиальные щебни с перекроенными тектитами, мощность 3 м; 2 — неогеновые глины, мощность 6 м; 3 — современный аллювий (русло и высокая пойма).

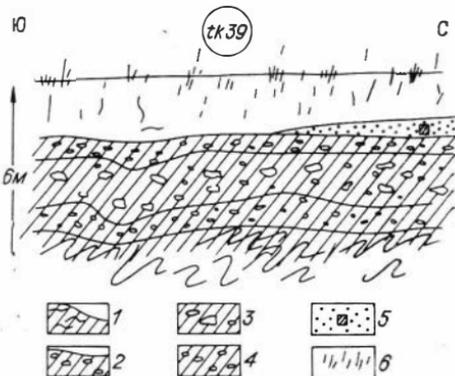


Рис. 20. Выемка вдоль шоссе Шонтай — Ханой, у моста через р. Сонглок.

1 — латеритизированные кристаллические сланцы; 2—4 — пролювиальные галечники-щебни, участками латеритизированные, мощность 3—4 м, мелко- (2, 4) и крупнообломочные (3); 5 — палевый лёсс (0,3 м); 6 — ярко-желтые суглинки, мощность 1—1,5 м.

принципиально отличаются от речного аллювия, в том числе от выносов протекающей рядом р. Дадунг, несущей издалека хорошо окатанную гальку самых разнообразных осадочных и изверженных пород, в том числе жильного кварца. В пустотах тектитов типа Муонг-Нонг сохранился красный латерит, хотя в цементе галечника его нет. Все это означает, что мы имеем дело не с аллювиальными отложениями, а с пролювиальным плащом местного происхождения, сформированным позже латеритизации и, вероятнее всего, сразу после выпадения тектитов.

2. Сходную картину Ле Дык Ан наблюдал в 75 км к западу от г. Куйньон, на 10—15-метровой террасе р. Сонгба, где слой пролювия, состоящего из жильного кварца и красных кремней, лежит на неогеновых глинах (рис. 19). Ближайшие пологие склоны сложены здесь риолитами и другими породами, пронизанными жилами кварца. Именно такого рода факты имели в виду Ле Дык Ан и Динь Нгок Лыу [15], говоря о более древнем возрасте тектитов по сравнению с молодыми террасами. Теперь, как показано выше, эти данные следует трактовать иначе.

3. К западо-северо-западу от Ханоя, на периферии Ханойского дельтового прогиба, вдоль шоссе, идущего на юг от г. Шонтай, дорожные выемки вскрывают разрез (рис. 20), в котором латериты и сильнолатеритизированные докембрийские сланцы, гнейсы и пегматиты слагают цоколь 6—7-метровой террасы. Последняя эквивалентна упоминавшимся выше 10—15-метровым надпойменным террасам, высота которых по мере приближения к депрессии постепенно снижается. Выше — щебни и угловатые галечники пролювиального типа мощностью до 3—4 м, состоящие в одних местах почти исключительно из жильного кварца, а в других — также из щебенки различных докембрийских пород местного происхождения. Состав пролювия зависит, следовательно, от степени выветрелости или латеритизации коренных пород в момент паводка. Щебни и галечники грубослоистые, местами выделяются 2—3 слоя

с отчетливыми границами. Пролювиальные отложения на отдельных участках неравномерно, пятнисто латеритизированы, и это означает, что латеритизация во Вьетнаме продолжалась вплоть до самого недавнего времени. Разрез завершается полутораметровым покровом ярких желто-бурых слабослоистых суглинков с прослоем лёсса мощностью 0,3—0,4 м с обломочками древесного угля. Непосредственно в данном разрезе тектитов найдено не было, однако в этом же районе еще в 1981 г. Ле Дык Ан и Э. П. Изох в нескольких местах отметили тектиты под лессовым слоем близ дневной поверхности. Пролювиальные отложения в этом районе по сравнению с другими районами Вьетнама наиболее широко распространены. Очевидно, что именно периферия Ханойского прогиба, т. е. пониженная область, окруженная низко- и среднегорьем, была особенно благоприятна для образования пролювиального плаща во время паводков.

Изложенные выше наблюдательные данные позволяют сделать ряд важных выводов.

1. Обломочные пролювиальные шлейфы и покровы обусловлены интенсивным, почти полным вымыванием рыхлых латеритов и других мягких продуктов выветривания и переотложением устойчивого остаточного материала, главным образом щебня кварца и кремнистых пород, иногда — крепких, слабовыветрелых обломков распространённых поблизости корейных пород. Вместе с обломками пород переносятся и тектиты, но, судя по слабой окатанности тех и других, на сравнительно небольшие расстояния, порядка сотен метров или первых километров.

2. Пролювиальные отложения наблюдаются только в речных долинах или на прибрежной равнине, по соседству с низко- и среднегорьем. Это — достаточно очевидная картина затопления поймы, а также прилегающих склонов, откуда сносился местный обломочный материал. Течение в этой обстановке, судя по всему, было достаточно сильным для выноса мелкозема, но гораздо более слабым, чем в речных руслах. В целом мы имеем картину интенсивного паводка, а возможно, нескольких следующих друг за другом наводнений (см. рис. 20), вызванных разливом рек.

3. Описываемый паводковый пролювий — явно эпизодическое явление, больше не фиксируемое в разрезе четвертичных отложений региона. Возраст пролювия соответствует 1-й надпойменной террасе, которая в момент паводка отвечала уровню поймы, а следовательно, близок к земному возрасту тектитов. Это значит, что вслед за выпадением тектитов на территории Вьетнама прошли сильнейшие ливни и наводнения.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

1. Во Вьетнаме фиксируется только один стратиграфический уровень, или горизонт, в котором тектиты лежат *in situ*. Он располагается в самых верхах разреза четвертичных отложений, причем на приподнятых поверхностях выравнивания он прикрыт только

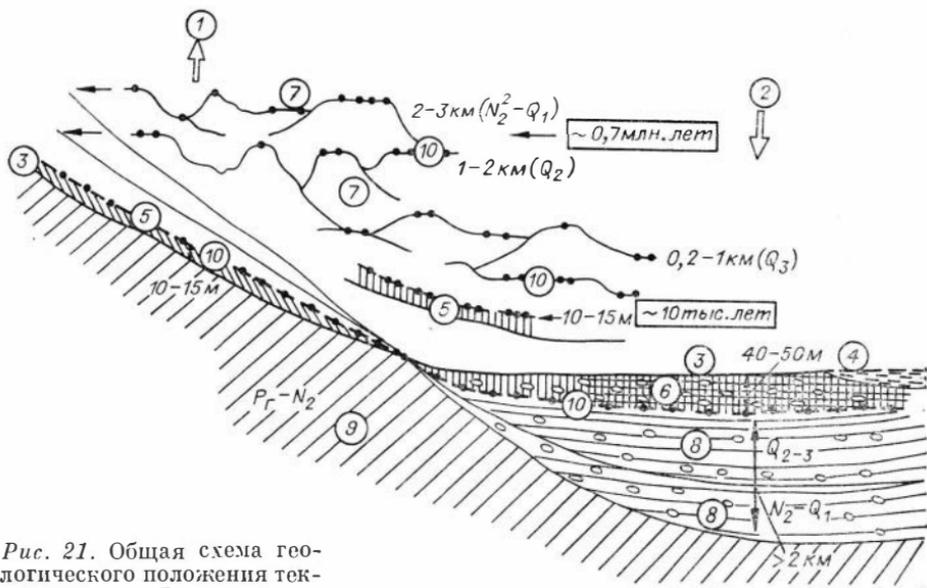


Рис. 21. Общая схема геологического положения тектитов во Вьетнаме.

1 — области поднятия; 2 — области погружения и седиментации (главным образом дельты); 3 — современная базисная поверхность; 4 — берег моря; 5 — 1-я надпойменная терраса; 6 — коррелятивные ей отложения в депрессиях; 7 — высокие террасы и поверхности выравнивания; 8 — коррелятивные им отложения; 9 — дочетвертичные отложения; 10 — тектитовый горизонт.

тонким лессовидным покровом, а в депрессиях (дельтах) — слоями галечников и песков, мощность которых по сравнению с общей мощностью дельтовых четвертичных отложений несоизмеримо мала (рис. 21).

2. В большинстве случаев тектитовый горизонт находится на границе латеритов, переходящих сверху в остаточный элювиальный щебень или латеритовую «сыпучку», и вышележащего слоя лёсса или лёссовидных суглинков. Последний представляет собой явно субаэральное образование, т. е. результат осаждения пылевых частиц, с небольшой примесью алевритового материала, вероятнее всего вследствие мощных пыльных бурь, последовавших вслед за выпадением тектитов.

3. В более редких случаях тектитовый горизонт представляет собой пролювиальный плац в речных долинах и на окраинах равнин (депрессий), возникший в результате мощных эпизодических паводков, случившихся, вероятнее всего, также сразу после выпадения тектитов. Тектиты в пролювии, наравне с обломками пород местного происхождения, слегка окатаны. Это единственный случай заметного, хотя и сугубо локального, перераспределения тектитов на земной поверхности, существенно не влияющего, однако, на общую картину их площадного распространения.

4. Возраст тектитового горизонта отвечает уровню 10—15-метровой (надпойменной) террасы, ниже которого тектиты уже не встречаются, хотя они распространены на всех более высоких тер-

расах и поверхностях выравнивания. Это значит, что тектиты могли выпасть на Землю только в то время, когда терраса представляла собой пойму.

5. Верхний возрастной предел тектитового горизонта определен по древесному углю в основании лёссовидного слоя и равен ~ 10 тыс. лет.

6. Нижняя возрастная граница прямыми методами устанавливается пока только в дельте р. Меконг, где найденные стратиграфически ниже тектитового горизонта остатки древесины имеют возраст 27 и 34 тыс. лет. Поиски такого рода прямых фактов должны быть продолжены. Однако следует иметь в виду, что тектитовый горизонт не может быть более древним, чем 10—15-метровые террасы, соответствующая им по возрасту аллювиальная (надпойменная) равнина р. Меконг и ранние красноватые дюнные пески, т. е. он не древнее 8—10 тыс. лет.

Таким образом, возраст тектитового горизонта, а значит, земной возраст тектитов с помощью различных независимых критериев оценивается примерно одинаково: около 8—10 тыс. лет.

7. Радиологический возраст тектитов, в отличие от земного, в среднем 0,6 млн. лет. В этом и состоит суть возрастного парадокса, на доказательство которого мы делаем упор в своих исследованиях, как на важнейший довод в пользу пеземного происхождения тектитов.

8. Тектитовый горизонт везде занимает один и тот же возрастной уровень. Тем не менее в нем залегают тектиты с различным радиологическим возрастом: 0,4, 0,6 и 0,8 млн. лет. Эти разновозрастные тектиты мы пока еще не в состоянии различать ни по формам, ни по вещественным особенностям. Поэтому вполне правомерно допустить, что они произошли из единого источника в результате однотипного, но дискретного процесса и последующей быстрой закалки вещества, очень сходного с земным. Это — еще одно проявление возрастного парадокса, из которого следует, что сформированные в разное время тектиты сначала где-то накапливались и уже затем были доставлены на Землю и выпали на ее поверхность в виде единого роя, или «ливня».

9. Уже сообщалось [1], что тектиты на территории Вьетнама, как и в Австралии, распространены в виде обособленных ареалов или протяженных полос, разделенных пустыми промежутками. Каждый ареал имеет свои черты внутреннего строения, в том числе элементы зональности, участки выпадения наиболее крупных и обильных тектитов и т. п., и отличается по характеру тектитов от соседних ареалов или полос. Хорошим примером служит протяженная полоса между г. Дананг и Винь (см. рис. 1), единственная во Вьетнаме, где очень широко распространены многочисленные крупные тектиты типа Муонг-Нонг. В этой же полосе находится лаосская деревня, по имени которой данный тип тектитов получил свое название [11].

Таким образом, тектитовый ливень не был сплошным. Он прошел отдельными полосами, подобно дождю, который проливается

из отдельных грозových туч. Полосы выпадения тектитов как во Вьетнаме, так и в Австралии направлены с северо-востока на юго-запад и не сходятся к какому-либо одному общему центру. Примечательно, что на простирании Австрало-Азиатского пояса располагается ударный кратер Жаманшин, единственный на Земле, где найдены тектиты, сходные и по возрасту, и по составу с тектитами Вьетнама [3]. Источником австрало-азиатских тектитов по всем параметрам он служить не может, хотя такое предположение и высказывалось [8]. Данные наблюдения не дают основания для поисков какого-то одного центра или источника тектитов как в самом Австрало-Азиатском поясе, так и за его пределами.

Еще менее вероятно происхождение тектитов из нескольких локальных центров, отвечающих каждому ареалу или полосе во Вьетнаме. В местах выпадения даже наиболее крупных тектитов не удастся найти признаков импактных структур ни в поле, ни на аэрофотоснимках. Но самое важное — здесь нет заведомо земных импактитов или ударно-метаморфизованных пород, чуждых своему окружению, как, например, в кратере Жаманшин. В условиях Вьетнама среди латеритов или под покровом лёсса такие прямые признаки импактных событий, если бы они имели место, не заметить было бы нельзя.

ПРЕДПОЛАГАЕМАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Таким образом, каких-либо прямых свидетельств земного происхождения тектитов мы не видим. Напротив, набирается все больше фактов, подтверждающих возрастной парадокс. Он означает, что возникшие в разное время (разновозрастные) тектиты сначала где-то накапливались, после того сотни тысяч лет носились в космическом пространстве и уже затем выпали на Землю. По гипотезе, разрабатываемой одним из авторов данной статьи, тектиты доставлены на Землю кометой, т. е. глыбой льдов, которые их цементируют, тем самым защищая от космического облучения и предохраняя от рассеяния в пространстве. Эта гипотеза позволяет отклонить главное возражение, выдвигавшееся против происхождения тектитов за пределами Земли или Луны, и позволяет увязать друг с другом и привести в достаточно логичную систему факты, ранее казавшиеся непонятными. К ним в первую очередь относятся возрастной парадокс, распределение тектитов на Земле, связь полей их выпадения с некоторыми ударными кратерами и т. п. Так, гигантские размеры и линейно-полосовая структура Австрало-Азиатского пояса ставятся в связь с пологой траекторией кометы, касательной относительно атмосферы Земли, а ареальное распределение тектитов — с их выпадением из отдельных фрагментов (глыб) распадающегося кометного тела. Кратер Жаманшин с этих позиций рисуется как результат удара о Землю одной из таких глыб, имевшей более крутую траекторию.

Гипотеза предполагает образование тектитов в результате вулканической деятельности на каких-то удаленных от Земли неизвестных планетных телах типа спутников Юпитера, лишенных атмосферы, обладающих малой массой и ледяной корой (подобно Ганимеду) и действующими вулканами (подобно Ио). Главным аргументом здесь служит факт доставки на Землю разновозрастных тектитов, т. е., по идее, продуктов периодических извержений, как это присуще вулканическим явлениям вообще. Дополнительными подтверждениями являются формы тектитов, сопоставимые как с вулканическими бомбами или лапиллями, так и с лавовыми потоками (тип Муонг-Нонг), а также весьма специфическая скульптура и особенности пластических деформаций тектитовых телец. Эти последние признаки свидетельствуют о совершенно необычной, не похожей на земную обстановке образования тектитов, в частности о их взаимодействии при охлаждении с резко вскипающим, пугорящимся субстратом, т. е., скорее всего, именно со льдом. Необходимо подчеркнуть, что скульптура тектитов, судя по нашим наблюдениям и вопреки распространенному мнению, никак не может быть связана с воздействием грунтовых вод. На поверхности тектитов никогда не бывает отпечатков земного материала: почв, скальных пород, латеритовых конкреций или аллювиального щебня и т. п. Они, несомненно, падали на Землю в виде твердых телец и их фрагментов. Наконец, гипотезой предусматривается, что сами тектитоносные кометы представляют собой крупные блоки вулканических построек, выброшенные в пространство особо сильными eruptивными взрывами.

Уязвимым местом в выдвинутой гипотезе является большое сходство вещества тектитов с земными осадочными породами, что и служит главным доводом в пользу их земной природы. К тому же современные представления о происхождении Солнечной системы и данные по метеоритам делают это сходство маловероятным. Нужно, однако, подчеркнуть, что тектиты, если наши представления верны, являются единственными на сегодня образцами внеземных кислых магматических пород, сопоставимых с земными риолитами или гранитами, но выплавленных в существенно иных условиях: в слабом гравитационном поле и из иных, чем на Земле, исходных магмогенерирующих субстратов (планетных оболочек). Поэтому сходство с осадочными породами Земли может быть всего лишь конвергентным. Так или иначе, но признание тектитов в качестве прямых носителей информации о веществе и процессах, идущих на других телах Солнечной системы, может послужить стимулом для пересмотра некоторых господствующих в сравнительной планетологии и космогонии представлений. Более чем вековая дискуссия о происхождении тектитов, таким образом, нам кажется еще далеко не исчерпанной, и игнорировать возможность очередного крутого поворота в ее развитии было бы нерационально.

Кометная гипотеза позволяет понять описанные в данной статье события конца четвертичного периода Вьетнама, теснейшим образом (в полном смысле слова парагенетически) связанные между собой:

выпадение тектитов, проливные дожди и связанные с ними мощные наводнения, а затем пылевые бури и осаждение лёсса. К этому можно добавить также лесные пожары, вероятно происходившие во время выпадения тектитов и оставившие след в виде углей в самом основании лёссового слоя. В целом создается картина весьма значительной, возможно глобальной, катастрофы, обусловленной космогенной причиной, т. е., по нашей гипотезе, столкновением с Землей кометы, а точнее, роя ее фрагментов или глыб. Последние должны были падать и на сушу, и в море, сопровождаясь бурным испарением как морской воды, так и кометных льдов, вызвав последующий климатический катаклизм.

Катастрофа, как мы старались доказать, произошла около 10 тыс. лет тому назад, т. е. в доисторический период, но, несомненно, уже на глазах человека. В этой связи отнюдь не простыми курьезами представляются до сих пор бытующие у различных племен Вьетнама представления о тектитах как о «экскрементах звезд», небесных камнях, имеющих магическую силу, и т. п.

Заманчивой кажется попытка увязать рассматриваемые события с легендами о Всемирном Потопе, распространенными у многих народов мира как в Восточном, так и в Западном полушариях. Во Вьетнаме эквивалентом их является очень популярная в народе легенда о борьбе между владыками воды и суши, закончившейся победой последнего на благо человека. Как известно, рубеж около 10 тыс. лет назад отделяет плейстоцен от голоцена и является одним из важнейших рубежей конца четвертичного периода. Его принято связывать с окончанием последнего оледенения, однако не исключено, что он в большой мере обусловлен рассмотренной космической причиной.

* *

*

Главный результат выполненных исследований сводится к подтверждению реальности возрастного парадокса тектитов, т. е. принципиальной разницы между возрастом самих тектитов (0,4—0,8 млн лет) и временем их выпадения на Землю (10 тыс. лет тому назад). Вместе с тем установление весьма молодого земного возраста тектитов ведет к необходимости коренного пересмотра многих прежних представлений, касающихся четвертичной геологии и геоморфологии Вьетнама, но не учитывающих парадокса возраста. Тектитовый горизонт, как и прежде, следует считать маркирующим, очень важным для расшифровки новейшей истории страны, однако возраст его теперь надо оценивать примерно в 10 тыс. лет, но не 0,6—0,7 млн лет, как ранее.

Соответственно гораздо более молодыми — средне- и поздне-четвертичными, вплоть до голоценовых, — следует считать те образования, которые лежат под тектитовым горизонтом и которые прежде относились к раннечетвертичному времени: различные коры выветривания и латериты, включая бокситоносные, террасы и кор-

релятные им россыпные месторождения олова, золота и др., подавляющее большинство базальтовых покровов и т. д. Следует при этом иметь в виду, что излияния базальтов во Вьетнаме происходили вблизи побережья в 20-е годы XX в. Поэтому встречающиеся в литературе сведения о находках тектитов между разновозрастными покровами базальтов [1] теперь представляются вполне естественными.

Одним из наиболее интересных научных и практических применений представляется использование тектитового маркирующего уровня для оценки интенсивности и знака неотектонических движений в голоцене на протяжении последних десяти тысячелетий. С этой целью важно продолжать изучение тектитового горизонта не только на поднятиях и депрессиях, но также на шельфе и далее в глубь океана.

Авторы благодарят своих коллег Буй Фу Ми, Нгуен Дык Тханга, Нгуен Ван Куена, Ле Динь Хыу, Г. Б. Горбана за помощь при сборах тектитов, И. А. Волкова, В. С. Волкову, С. С. Сухорукову, В. С. Зыкину за ценные советы при обсуждении рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изох Э. П., Ле Дык Ан. Тектиты Вьетнама. Гипотеза кометной транспортировки // Метеоритика.— 1983.— Вып. 42.— С. 158—169.
2. Изох Э. П. Парадокс возраста тектитов и полей их выпадения // Метеоритика.— 1985.— Вып. 44.— С. 127—134.
3. Изох Э. П. Петрохимия пород мишени, импакторов и тектитов астроблемы Жаманшин // Космическое вещество и Земля.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986.— С. 159—203.
4. Кашкаров Л. Л., Генаева Л. И., Лаврухина А. К. и др. Возраст вьетнамских тектитов по трекам осколков деления урана // Метеоритика.— 1986.— Вып. 45.— С. 165—170.
5. Ле Дык Ан, Динь Нгок Лыу. Новые находки тектитов в Южном Вьетнаме и их значение для геолого-геоморфологических исследований // Геологическая съемка.— Ханой, 1978.— № 36.— С. 37—41 (на вьет. яз.).
6. Нгуен Дик Зи. Тектиты и проблема границы между неогеновым и четвертичным периодами во Вьетнаме // Археология.— Ханой, 1980.— № 4.— С. 7—12 (на вьет. яз.).
7. Fontaine H., Hoang Thi Than. Alluvions anciennes du Nam-Phan septentrional // Arch. geol. du Viet Nam.— 1971.— N 14.— P. 145—168.
8. Glass B. P. Comparison of chemical variations in flanged australite with chemical variation among «normal» Austral-Asian microtektites // Earth and Planet. Sci. Lett.— 1970.— V. 9, N 3.— P. 240—246.
9. Glass B. P. Zhamanshin crater: possible source of the Austral-Asian tektites (?) // Geology.— 1979.— N 7.— P. 351—353.
10. O'Keefe J. A. Tektites and their origin.— Amsterdam e. a.: Elsevier, 1976.— 254 p.
11. Lacroix A. Les tektites sans formes figurée de L'Indochine // C. r. Acad. Sci.— Paris. 1935.— V. 200.— P. 2129—2132.
12. Saurin E. Sur quelques gisements de tektites de l'Indochine du Sud // C. r. Acad. Sci.— Paris, 1935.— V. 200.— P. 246—248.

ЛИТОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЬЕТНАМА, АССОЦИИРОВАННЫХ С ТЕКТИТАМИ

Тектитоносный горизонт во Вьетнаме почти повсеместно перекрыт слоем голоценовых пород мощностью от 0,3 до 2,0 м, редко более. Этот слой из-за его залегания непосредственно на поверхности террас и горных плато первоначально именовался просто почвой *. Последующие более углубленные полевые исследования привели к выводу, что рассматриваемый покровный слой хотя и является одним из важных субстратов почвообразования, но представляет собой самостоятельный стратиграфический горизонт со своей, отличной от других уровней четвертичного разреза, спецификой вещественного состава и происхождения. В связи с этим возникла необходимость специальных литологических исследований пород покровного слоя, первые результаты которых излагаются в данной статье. Материалом для изучения послужили образцы из коллекции Э. П. Изоха. Их расположение и геологическая позиция показаны на рисунках в предыдущей статье данного сборника.

Покровные отложения распространены на поверхности надпойменных террас высотой 10—15 м и на любых более высоких поверхностях выравнивания высотой более 2—5 км. В пределах современной поймы и прибрежной равнины они отсутствуют. Четвертичный покров облекает неровности рельефа и склоны пологих холмов. Верхи слоя, а нередко и вся его мощность отчетливо гумусированы и преобразованы почвообразовательными процессами.

Покровные отложения залегают на разновозрастном и петрографически разнородном коренном субстрате. Это латеритизированные кристаллические сланцы и гнейсы докембрия, осадочные породы палеозоя и мезо-кайнозоя, в том числе разнообразные вулканы разной степени выветрелости, часто превращенные в латериты. Тем не менее покров представляет собой единый песчано-алевритоглинистый слой супесей, суглинков и глин. Характерны желтоватый (палевый), бурый, красноватый цвета отложений, причем последний свойствен району развития рыхлых латеритов. В покровном слое постоянно встречаются кусочки древесного угля, иногда они особенно обильны в основании слоя, тесно ассоциируя с тектитами. Отложения неслоисты, макропористы, породы легко разбиваются молотком, но при этом не рассыпаются, сохраняют комковатость, в обнажениях хорошо держат отвесные уступы, вертикальные стенки. По этим признакам отложения напоминают лессовидные породы поэтому геолог Хоанг Нгок Ки и предположил эоловое их проис-

* Изох Э. П., Ле Дык Ан. Тектиты Вьетнама. Гипотеза кометной транспортировки // Метеоритика.— 1983.— Вып. 42.— С. 158—169.

хождение и принадлежность к собственно лёссам (устное сообщение). Радиоуглеродные датировки угля из лессовидного покрова варьируют в пределах от 10 тыс. лет до современных и, таким образом, не выходят за пределы голоцена *. Тектитоносный горизонт приурочен исключительно к самому основанию (подшве) покрова. Он чаще всего представляет собой смесь остаточного элювиального щебня, латеритовых конкреций и лессовидных супесей или суглинков. Тектиты здесь лежат несомненно *in situ*, поэтому тектитоносный горизонт и покровный слой тесно связаны друг с другом и, по существу, являются частями единого целого.

Приводимые далее результаты изучения структуры, текстуры и состава покровных отложений показывают, что при внешнем однообразии многие их признаки и свойства значительно изменяются в зависимости от местонахождения. Одним из показателей служит гранулометрический состав (табл. 1), который определен методом ситопипетки в макроагрегатном и дисперсном варианте подготовки проб к анализу. Результаты показывают, что пылеватые и глинистые частицы агрегированы, так как в полностью диспергированном состоянии выход глинистой фракции в породе возрастает на 10—15%.

Данные гранулометрического анализа свидетельствуют, что породы покровных отложений Вьетнама содержат частицы среднего и мелкозернистого песка (0,25—0,10 мм), тонкозернистый песок (0,05 мм), пылеватые (0,01—0,002 мм) и глинистые (0,002 мм) фракции. По преобладанию какой-либо из фракций в совокупности с другими частицами выделяются четыре типа пород.

К первой группе относится плохо сортированный пылеватоглинистый мелкозернистый песок, иначе — супесь. Такие супеси встречены в районе г. Хошимина (обр. 7), они широко распространены в Южном Вьетнаме. Другую группу образуют легкие и средние суглинки, в которых содержится 35—45% тонкозернистого песка (0,05 мм) и 20% глинистой фракции (0,002 мм). Они распространены в районах г. Дананг, Тамки, Ханой, Хайфон, Тхайнгуен, Хонггай, Шонтай. Собственно пылеватыми по структуре оказались образцы покровных отложений в районе г. Винь. Здесь содержание алевритовой или пылеватой фракции (0,01 мм) достигает 35—40%. Это пылеватый суглинок. Наиболее многочисленны глины, в том числе тяжелые, водопрочно-агрегированные, где содержание глинистой фракции при дисперсном анализе достигает 40—50%. Содержание пылеватых и особенно песчаных фракций в глинах невелико (районы Нафак и Шонтай).

Таким образом, можно заключить, что структура покровных отложений в разных районах различна. Закономерности латеральной изменчивости гранулометрии пород пока недостаточно ясны. В целом покровные отложения северных областей Вьетнама более глинистые, чем на юге страны.

* См. статью В. С. Папычева, Л. А. Орловой, Э. П. Изюха, Л. Д. Сулержицкого в наст. сб.

Гранулометрический состав покровных отложений Вьетнама (с предварительной обработкой пирофосфатом натрия), %

Район	№ обр.	Фракции, мм							dM*	S ₀ **
		0,5	0,5—0,25	0,25—0,06	0,06—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	0,001		
<i>Супесь</i>										
г. Хошминь	7	4,5	15,0	47,4	16,9	2,3	0,3	13,6	0,10	3
<i>Суглинки легкие и средние</i>										
г. Тамки	23б	16,1	9,0	22,9	24,1	3,2	6,7	18,0	0,04	7
г. Хонггай	29б	18,3	8,2	23,8	19,0	5,8	3,0	21,9	0,05	7
г. Шонтай	35	3,1	8,3	36,0	31,7	2,9	5,6	12,4	0,03	4
г. Тхайгуен	30б	1,3	6,1	35,8	18,9	3,2	5,1	29,6	0,03	10
»	33	4,4	5,1	32,3	20,1	5,4	9,4	23,3	0,04	5
»	34	3,1	10,4	30,5	18,6	3,2	11,8	22,4	0,05	10
<i>Суглинки пылеватые</i>										
г. Винь	24а	8,8	5,7	19,0	29,6	9,5	10,4	17,0	0,02	5
»	25а	10,6	5,2	12,5	34,6	10,8	7,9	18,4	0,02	5
<i>Глины</i>										
пос. Нафак	31а	2,1	1,4	4,1	23,1	14,8	22,9	31,6	0,006	4
»	31б	12,1	6,0	7,4	19,9	8,9	17,2	28,5	0,01	10
<i>Глины тяжелые</i>										
пос. Нафак	31в	2,2	1,6	4,3	23,0	20,4	22,9	35,6	0,003	4
г. Шонтай	37	13,1	4,1	8,4	15,5	1,2	9,3	48,4	0,001	10
»	39а	6,1	0,2	7,1	19,7	11,3	14,3	41,3	0,001	10
»	39г	5,4	5,2	14,6	19,4	3,4	10,0	42,0	0,010	4
»	40	2,0	1,2	4,6	12,3	4,1	21,5	54,3	0,001	4

* Средний диаметр.

** Коэффициент сортировки.

При полевых исследованиях было отмечено, что состав пород в подошве покровного горизонта зависит от состава нижележащих пород. Например, латеритовые конкреции обильны на латеритах и отсутствуют, если подстилающие породы не прошли этой стадии разрушения и разрыхления пород. Щебенка кварца характерна для латеритизированных песчаниково-сланцевых отложений и некоторых эффузивов, пронизанных системами кварцевых жил. Щебенка кремней присуща некоторым окремненным карбонатным толщам, зерна кварца — гранитной дресве, кристаллы турмалина — участкам развития пегматитовых жил и т. п. В большинстве разрезов основание покровных отложений связано постепенным переходом с непременным местным элювием — именно здесь залегают тектиты, тогда как на поверхности или внутри покрова их нет.

Убедительные доказательства связи состава покровного слоя с подстилающим местным субстратом демонстрируют терригенно-минералогические ассоциации, выделенные в голоценовых покровных отложениях Вьетнама.

Минералогические ассоциации охарактеризованы при изучении ряда классов песчано-алевритовых фракций, выделенных из каждой пробы с предварительным разделением в бромформе на тяжелые и легкие минералы. Легкая фракция сложена кварцем бесцветным, прозрачным, молочно-белым и серым непрозрачным. Морфологическое разнообразие зерен кварца (насчитывается 11 видов) подчеркивается не только разной степенью окатанности, но также округленностью и строением исходных зерен, по-видимому высвобожденных при выветривании почти без изменения из материнских пород. Таков, например, гроздевидный, сахаровидный кварц с гладкой, как бы оплавленной поверхностью, отличающийся от других форм своей необычностью. Основная же масса зерен угловатая, сильно трещиноватая, т. е. не испытывавшая заметного переноса. Хорошо и идеально окатанные зерна кварца с блестящей или матовой поверхностью, подвергавшиеся длительной обработке водой или ветром, содержатся в небольшом количестве; видимо, это примесь, заимствованная из более древних осадочных пород. Следует отметить, что в легкой фракции нет полевых шпатов. Очевидно, они были разрушены в латеритной коре выветривания, а поскольку интенсивность и скорость этого процесса в тропиках весьма велики, то зерна полевого шпата не могли участвовать даже в ближайшем местном переотложении.

Тяжелая фракция представлена комплексом устойчивых минералов. Здесь присутствуют турмалин, циркон, рутил и рудные — лимонит, гематит, ильменит, магнетит, лейкоксен. В качестве незначительной примеси отмечаются эпидот, пироксен и весьма неустойчивые сульфиды, такие как пирит, галенит. Таким образом, основной состав терригенно-минералогических ассоциаций покровных отложений Вьетнама определяют весьма устойчивые к выветриванию силикаты и рудные минералы. По сочетанию и количественным соотношениям названных минералов намечены пять ассоциаций. Принимая во внимание немногочисленность изученной выборки (16 проб), можно говорить о сильных вариациях состава терригенного компонента покровных супесей, суглинков и глин. Почти каждая проба имеет свои особенности состава (табл. 2).

Существенно ильменитовая фракция, где ильменита от 50 до 80%, с примесью магнетита, лимонита, лейкоксена, рутила обнаружена в глинах Шонтай (обр. 39а, г, 40), Тхайнгуен (обр. 33), дельты р. Красной и в супесях Тамки (обр. 23) близ г. Дананг. Эта ассоциация сочетается с примесью весьма неустойчивого пирита, галенита, источники поступления которых должны быть расположены очень близко.

В предгорных районах дельты р. Красной у г. Хонггай (обр. 29б) тяжелые минералы представлены главным образом лейкоксом (34—45%), много циркона (до 27%) и буровато-черного турмалина (20%). Качественно и количественно близкий состав имеют

Минеральный состав песчано-алевритовой части покровных отложений Вьетнама, %

Район	№ обр.	Ильменит	Магнетит	Лейкоксен	Циркон	Турмалин	Рутил	Эпидот	Пироксен	Группа амфибола ?	Уголь	Рудный ?	Сульфиды	Лимонит	Гематит
г. Тамки	23б	48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	—	33	7
г. Тхайнгуен	33	72	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
г. Шонтай	39а	78	—	12	—	—	2	—	—	—	—	—	—	8	—
»	39г	79	—	8	—	—	2	—	—	—	—	—	—	12	—
»	40	45	43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	—
г. Тхайнгуен	34	15	—	85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
»	30б	17	32	34	8	3	5	—	—	—	—	—	—	—	—
г. Хонггай	29б	4	—	45	27	20	4	—	—	—	—	—	—	—	—
г. Хошпмин	7	18	—	13	5	43	6	—	—	—	—	—	—	15	—
г. Шонтай	35	9	—	—	—	44	—	—	—	40	—	—	—	8	—
»	37	25	8	—	—	6	—	—	—	40	—	—	—	20	—
г. Винь	24	15	5	5	—	5	—	—	—	—	—	—	—	70	—
»	25	20	—	10	—	5	—	—	—	—	—	—	—	65	—
пос. Нафак	31а	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	95	5
»	31б	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100	—
»	31в	—	—	—	—	—	—	—	—	50	—	—	—	50	—

покровные суглинки района г. Тхайнгуен (обр. 30б). Второстепенными минералами являются ильменит, рутил, единичными — анатаз, ставролит, гранат, эпидот. Все минералы хорошо или идеально окатаны и сосредоточены во фракции 0,05—0,06 мм, т. е. отсортированы, что говорит о неоднократном переотложении и заимствовании их из древних осадочных пород. Лейкоксен встречается обычно в виде зерен различной степени окатанности, вплоть до совершенно округлых и лепешковидных форм, часто имеет глянцеватую поверхность, нередко отмечаются псевдоморфозы лейкоксена по ильмениту, рутилу, анатазу.

Исключительно лейкоксеновой (85%) по составу оказалась тяжелая фракция в суглинках Тхайнгуен (обр. 34), в которой также присутствуют зерна пироксена и сульфидов, коренные источники которых, несомненно, расположены очень близко.

Циркон-лимонит-турмалиновая ассоциация найдена в супесях южных районов у г. Хошимина (обр. 7).

Повышенное количество турмалина (44%) содержат легкие суглинки Шонтай (обр. 35) в районе г. Ханоя, из области развития докембрия. Кроме того, здесь отмечено большое количество минералов группы амфибола (актинолит — тремолит?).

Большая группа образцов характеризуется преимущественно лимонитовым составом песчано-алевритовых зерен. Это суглинки приморской равнины г. Винь (обр. 24, 25), обогащенные лимонитовым гравием (латеритовыми конкрециями), а также покровные глины северных возвышенностей Нафак (обр. 31а — в). Суглинки г. Винь, помимо лимонита, содержат примесь ильменита (15%), магнетита (5%), лейкоксена (5%), турмалина (5%), тогда как глины Нафак обогащены исключительно лимонитом. В виде единичных минералов здесь присутствуют гранат, циркон, турмалин, рутил, корунд, дистен, эпидот, лейкоксен, ильменит. Различаются более семи разновидностей лимонита. Наиболее распространены буроватые плоские полуоктаэдрические зерна размером чаще всего 0,25—0,16 мм с блестящей гладкой поверхностью, скорлуповатой оолитовой структурой и реликтами серицита. Другая разновидность представлена черно-бурыми псевдоморфозами лимонита по пириту, имеющими форму куба. Обильны остроугольные корочки, обломки буро-коричневого лимонита с бугристо-шероховатой поверхностью. Несомненно, что лимонитовая ассоциация происходит за счет продуктов латеритового выветривания.

Таким образом, результаты минералогического анализа говорят об индивидуальности характеристик состава покровных отложений, хотя сказанное касается в общем лишь Северного Вьетнама, откуда взята большая часть изученных проб.

Покровные отложения образуются главным образом за счет местных источников питания, в результате ближнего переноса и незначительного переотложения. При этом различия их структуры и состава обусловлены пестротой и разнообразием подстилающего геологического субстрата.

Результаты проведенного исследования убеждают, что покровные супеси, суглинки и глины Вьетнама могут быть отнесены к автохтонным субаэральным образованиям элювиально-делювиального ряда, тесно связанным с подстилающими и местными источниками питания. Нет явных признаков дальнего эолового переноса терригенного материала.

Как уже отмечалось, голоценовый покров представляет собой единый супесчано-суглинистый слой. Весьма существенно, что покровные отложения являются почвообразующими и подвергаются значительному воздействию и преобразованию почвенными процессами.

В условиях тропического климата распад растительных (и животных) остатков идет очень быстро. Значительная часть отмершей растительной массы здесь полностью минерализуется с образованием углекислого газа, азотной и серной кислоты и др., и только сравнительно небольшая часть может оставаться в качестве промежуточных продуктов распада, образуя почвенный гумус. В связи с повышенной энергией распада органических веществ происходит интенсивное минеральное выветривание, и формирующиеся на различных горных породах латеритные почвы трудноразличимы между собой. Их местный перенос, судя по всему, и обуславливает наблюдаемую относительную

Химический состав покровных отложений Вьетнама, вес. %

Порода	№ обр	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П. л. л.	Сумма
Супесь	7	92,36	0,35	6,28	0,24	0,30	—	—	0,35	0,02	0,10	—	2,93	98,83
Суглинки	29б	85,08	0,83	9,68	2,86	0,38	—	0,42	0,24	0,04	0,47	—	4,74	99,56
»	30б	83,13	1,00	10,63	3,82	0,23	—	0,41	0,44	0,04	0,30	—	3,06	99,60
»	33	82,47	0,92	11,36	2,67	0,91	—	0,41	0,58	0,08	0,60	—	5,13	99,44
»	34	89,48	0,56	8,65	0,55	0,23	—	—	0,28	0,03	0,22	—	2,00	98,94
»	35	88,32	0,65	6,91	2,13	0,52	—	0,47	0,40	0,08	0,46	0,06	3,07	99,66
Глины	31а	60,63	0,88	21,92	9,47	0,24	—	1,51	0,25	0,09	5,01	—	8,10	98,71
»	31б	61,18	0,97	21,65	9,81	0,24	—	1,31	0,39	0,11	4,27	0,07	8,18	99,65
»	31в	60,76	1,02	23,78	7,51	0,24	—	1,59	0,33	0,08	4,63	0,06	7,08	99,92
»	37	57,75	3,08	25,77	11,34	0,57	0,05	0,60	0,19	0,07	0,45	0,13	11,76	99,69
»	39а	55,92	4,46	23,11	14,27	0,64	0,12	0,63	0,36	0,07	0,24	0,18	11,02	99,43
»	39г	65,82	4,40	17,15	10,93	0,25	0,07	0,59	0,38	0,06	0,20	0,15	10,14	98,78
»	40	45,39	4,36	25,43	20,97	0,40	0,09	1,38	0,42	0,07	1,31	0,18	11,96	100,41
Латериты	26а	29,44	0,72	14,11	49,59	0,17	0,09	1,47	0,33	2,68	1,26	0,14	8,66	99,23
»	38в	12,52	1,46	11,67	67,20	0,25	0,08	1,90	0,42	3,09	—	1,41	13,40	98,61

Примечание. Анализы выполнены рентгеноспектральным методом во ВСЕГЕИ. Содержания окислов пересчитаны на сухую массу, сумма — до пересчета.

однородность лессовидного покрова в тех или иных отдельно взятых районах Вьетнама.

По химическому составу (табл. 3) выделяются те же три типа пород, что и по данным гранулометрии: супеси, суглинки и глины, различающиеся по содержанию кремнезема и соответственно остальных окислов. Некоторая часть покровных глин, обогащенных железом, но бедных щелочами, приближается по составу к латеритам (обр. 37, 39а, 39г, 40). По-видимому, это — начало процесса латеритизации покровного слоя, следы которой местами достаточно отчетливы, например в галечниках надпойменной террасы в районе Шонтай и других местах. В то же время нельзя исключать и возможность местного переотложения более древнего рыхлого латерита.

Почвообразовательный процесс создает макропористость и комковатость отложений. Микроморфологические следствия этого процесса наблюдаются во всех изученных шлифах. На фоне песчано-алевритоглинистой массы разнообразной структуры и неслоистой, однородной текстуры видны многочисленные округлые, неправильно-извилистые микропоры, пронизывающие породу, и углефицированные растительные остатки, сохранившие клеточную структуру. Контуры пор окаймлены новообразованным глинистым веществом в виде пленок, каемок толщиной до 0,05 мм от серого до бурого цвета, низко- и высокодвупреломляющим в соответствии с ожелезненностью и волнистым погасанием. Глинистые каймы обволакивают песчинки кварца, оконтуривают комочки-агрегаты и микроагрегаты. Судя по данным дифференциального термического анализа, глинистые минералы представлены гидрослюдой и каолинитом. Глинистый цемент покровных глин местами почти изотропен (Шонтай), а в некоторых

районах (Нафак), наоборот, хорошо раскристаллизован и отличается ясной точечно-чешуйчатой поляризацией. Разная интенсивность новообразований и раскристаллизованности глинистого вещества отражает уровни почвенного профиля.

Простым показателем текстурной изменчивости покровных отложений могут служить характер и скорость размокания образца породы в воде. Интересны в этом смысле комковатые глины горного района у пос. Нафак. Обр. 31а, взятый в верхней части покрова, находясь в дистиллированной воде в течение двух суток, не распался. Обр. 31б, из средней части покрова, развалился на остроугольные, трещиноватые комки размером 3—4 см. Наконец, обр. 31в, из подошвы, полностью размок с образованием комочков 2—5 мм, при этом всплыли частицы угля. Видимо, размеры водопрочных агрегатов, возникающих при почвообразовательном процессе, отражают различные стадии образования покровных отложений, а именно разрыхление или скрепление их гидроокислами железа.

Первоначально предполагавшейся связи между быстротой размокания и гранулометрией пород не обнаружено. Так, практически не размокают в течение двух суток в воде плотные, мелкопесчаные пробы 7 (г. Хошимин), 23б (г. Дананг, возле г. Тамки) и насыщенные латеритовым гравием обр. 24, 25 (г. Винь). Находясь в основании покровного слоя, эти породы могут проявлять свойства водопора. Напротив, очень быстро и полностью размокают в воде, образуя груды остроугольных комочков размером 2—3 мм, комковатые суглинки и тяжелые глины покровных отложений близ дельты р. Красной (обр. 29, 30, 33, 35, 37, 39, 40). Характеристика размокаемости пород покровных отложений может быть использована при почвенной съемке и инженерно-геологической оценке осваиваемых районов.

В итоге проведенных исследований становится ясно, что покровные отложения Вьетнама являются автохтонными элювиально-делювиальными образованиями. С типичными лёссами Китая или Средней Азии у них нет ничего общего, если не считать их субаэрального происхождения. Последнее в данном случае следует связывать с кратковременными местными песчано-пылевыми вихрями, последовавшими сразу же за выпадением тектитов на земную поверхность. Среди процессов, преобразующих субаэральные региональные отложения, главную роль во Вьетнаме играет почвообразование, придающее им характерные общие для всего покрова черты тропических красноземов, переходящих в латериты.

Авторы благодарят за ценные советы и помощь В. С. Волкову, И. А. Волкова, С. А. Архипова и В. Л. Масайтиса.

К—Аг-ВОЗРАСТ ТЕКТИТОВ ВЬЕТНАМА И АСТРОБЛЕМЫ ЖАМАНШИН

Изотопный (калий-аргоновый и трековый) возраст тектитов-индошинитов ранее уже определялся. Во Вьетнаме, как и в любых других частях Австрало-Азиатского пояса выпадения тектитов, наиболее частые значения их возраста близки к 0,7—0,8 млн лет [9—11, 17, 23]. В ряде публикаций сообщается о находках в пределах пояса, в том числе в одних и тех же местонахождениях или ареалах, тектитов с иным возрастом: 0,4; 0,6; 1,4 и даже 3,5—4,5 млн лет [4, 5, 15, 18, 21]. При этом разновозрастные тектиты, за малым исключением, по вещественным свойствам и геологическому положению практически неотличимы друг от друга, что делает вывод о пространственном совмещении разновременных полей, или ареалов, тектитов маловероятным. Проблема возраста тектитов, таким образом, оказывается более сложной, чем это представлено в сводках и обзорах [12, 14, 16].

Необходимость в новых определениях возникла также потому, что во Вьетнаме ярко проявлен возрастной парадокс тектитов [1, 3]. В связи с этим необходимо было удостовериться, что тектиты, лежащие во Вьетнаме в стратиграфическом горизонте с возрастом порядка 5—10 тыс. лет, действительно аналогичны по своему изотопному возрасту другим австрало-азиатским тектитам. Специальный интерес представляло также прямое сравнение тектитов типа Муонг-Нонг и сходных с ними кислых стекол астроблемы Жаманшин.

В ИГЕМ АН СССР возраст тектитов определен на специальной низкофоновой установке конструкции ИГЕМ с масс-спектрометром, работающим в статистическом режиме. Установка предназначена для измерения ультрамалых количеств радиогенного аргона. Уровень фоновых сигналов в холостом опыте составлял 10^{-8} — $5,9 \cdot 10^{-9}$ нсм³ по ⁴⁰Аг при температуре около 1500°С в объеме плавления образцов. В опытах с образцами тектитов (навеска 0,5 г) доля воздушного аргона несколько возрастала за счет его примеси в самих образцах, но нигде не превышала 85%. Точность измерения количества радиогенного аргона контролировалась изотопным составом воздушного аргона, а также по содержанию ⁴⁰Аг_{рад} в международных стандартах: мусковит Р-207 (США), биотит Вегп-4М (Швейцария) и базальт 1/76 (СССР). Расчет возраста проводился по константам, рекомендованным Международной подкомиссией по геохронологии в 1976 г.: $\lambda_K = 0,581 \cdot 10^{-10}$ год⁻¹; $\lambda_\beta = 4,962 \cdot 10^{-10}$ год⁻¹; $40_K = 0,01167$ ат.%. Содержание калия определялось методом пламенной фотометрии с использованием диффракционной решетки, фотоумножителя и высокочувствительного гальванометра. Наиболее вероятная погрешность определения 1—1,5%. Результаты анализов приведены в табл. 1.

К—Аг- и трековый возраст тектитов Вьетнама и Жаманшина (ИГЕМ АН СССР)

№ обр.	Район	Геологическая позиция	Характер образца	Содержание			К—Аг-возраст, млн лет	Трековый возраст, млн лет *
				К ₂ О, %	⁴⁰ Аг рад, нг/г	атм. Аг, %		
1/1	г. Далат	Плато 1,5—1,6 км, подошва лёссовидного покрова	Хвостатая капля	2,47	0,11±0,015	60; 70	0,76±0,12	0,62±0,06 0,46±0,04 0,51±0,07
A55/8	Район г. Дананг	10—15-метровая терраса	Тип Муонг-Нонг	2,34	0,088±0,12	78; 83	0,68±0,12	Не опр.
Ж2/1	Кратер Жаманшина, южная часть	Неперемещенный ареал на насыпном вале	Кислый жаманшинит типа Муонг-Нонг	2,87	0,15±0,02	73; 84	0,95±0,15	0,58±0,06 0,50±0,20
Ж7/1	Там же	Там же	То же	2,82	0,16±0,02	60	1,01±0,15	0,68±0,2 0,63±0,1
Ж20/1	Там же, северная часть	»	»	2,94	0,13±0,02	71	0,75±0,15	Не опр.
Ж22/1	Там же, северо-западная часть	Слабо перемещенный ареал (пролювий)	»	3,08	0,13±0,02	83	0,73±0,15	»
Ж23/1	Там же, юго-восточная часть	Там же	»	3,06	0,13±0,02	83	0,78±0,15	»
Ж11		Неперемещенный ареал	Тектит-иргизит	1,86	—	100	—	»

* Трековый возраст [4, 5]. Определения К/Аг и трековым методом относятся к разным образцам тектитов из одного места.

В ГЕОХИ АН СССР анализ проводился по ранее опубликованной сходной методике, результаты которой даны в табл. 2.

Проанализированные тектиты взяты во Вьетнаме из одного горизонта в подошве лессовидного субаэрального покрова с поверхности как 10—15-метровых морских и речных надпойменных террас, так и более высоких поверхностей выравнивания. Следует обратить внимание на то, что из 10 проанализированных образцов вьетнамских тектитов 7 были взяты именно на надпойменных террасах. Возраст последних, судя по оценкам скоростей воздымания горной страны, а также по радиоуглеродным оценкам возраста древесных углей из покровного слоя, не древнее 5—10 тыс. лет и примерно отвечает концу плейстоцена — началу голоцена. Были проанализированы тектиты, совершенно лишенные признаков окатанности, оббивания и других внешних признаков переотложения или транспортировки.

В обеих лабораториях получены обычные для австрало-азиатских тектитов значения возраста $0,68—0,99 \pm 0,15$ млн лет. Среднее из 10 определений равно 0,81 млн лет, т. е. вариации возраста почти не выходят за пределы точности метода. Естественным кажется вывод, что эти тектиты принадлежат к одной возрастной группе.

Одновременно возраст тектитов из той же коллекции Э. П. Изоха и Ле Дык Ана определялся трековым методом [4, 5, 13]. Как видно из табл. 1 и 2, трековый метод по сравнению с калий-аргоновым систематически дает несколько меньшие значения возраста. Выявляются три дискретные возрастные группы тектитов: 0,40—0,55 млн лет (12 образцов), 0,55—0,70 (16 образцов) и 0,83 млн лет (2 образца). Эти группы, как подчеркивает Л. Л. Кашкаров, не перекрывают друг друга, различия между ними статистически значимы.

Остается пока неясным, чем вызваны наблюдаемые расхождения: систематическими погрешностями того или другого метода или же разным исходным материалом. Дело в том, что тектиты с разным трековым возрастом встречаются не только в одном регионально распространенном горизонте, но и в одном ареале, практически в одном месте, как это видно на примере тектитов г. Далата. Поэтому принадлежность к одному местонахождению не обязательно означает и одновозрастность тектитов. К сожалению, ни в одном случае обоими методами не было проанализировано стекло из одних и тех же телец, поэтому прямое сравнение сейчас затруднительно. Это задача ближайшего будущего.

Для определения возраста образцов из астроблемы Жаманшин были отобраны только однородные кислые жаманшиниты, по облику, химизму и другим признакам более всего сходные с тектитами типа Муонг-Нонг из Вьетнама. Единственный проанализированный образец тектита-иргизита обнаружил необычно высокое содержание воздушного аргона (см. табл. 2), что препятствует определению возраста. Ранее [7] кислые жаманшиниты были отнесены к типичным импактитам и в качестве таковых фигурируют в более поздних публикациях различных авторов. Однако образование их именно за счет пород мишени строго еще не доказано [6]. Как и во Вьетнаме, они чужды

К — Аг и трековый возраст тектитов Вьетнама (ГЕОХИ АН СССР)

№ обр.	Район	Геологическая позиция тектита	Тип тектита	Содержание			К—Аг-возраст, млн лет	Трековый возраст, млн лет *
				K ₂ O, %	⁴⁰ Аг, см ³ /г × 10 ⁻⁸	⁴⁰ Аг град. %		
1/4	г. Далат	Плато 1,5—1,6 км на гранитах	Нормальный	2,37	6,5	56	0,86±0,15	0,62±0,06 0,46±0,04 0,51±0,07
7/6	Юг Северного Вьетнама, пос. Куйхоп	Плато 1,0 км на известняках	»	2,75	7,5	60	0,86—0,15	0,62±0,06
24/7	Север Вьетнама, д. Хамшен	12-метровая терраса р. Сонгло	»	2,50	6,0	48	0,76±0,12	0,62±0,07
30/4	г. Йенбай	10—12-метровая терраса р. Красной	»	2,51	6,3	65	0,79±0,15	0,83±0,09 0,83±0,10
33/7	Район г. Футхо	Там же	»	2,55	8,0	50	0,99±0,15	0,61±0,08
A55/5	Район г. Дананг	10—15-метровая терраса	Муонг-Нонг	2,43	5,0	47	0,76±0,15	0,45±0,06
A65/4	»	Там же	»	2,49	6,1	62	0,76±0,15	
A79/8	Южный Вьетнам, д. Нгуендакнонг	Там же, на базальтах, Q ₂₋₃	»	2,57	7,0	63	0,86±0,15	0,50±0,05

* См. сноску табл. 1.

своему геологическому окружению и по праву могут быть названы тектитами-жаманшинитами [2]. Их K — Ag-возраст варьирует в пределах 0,73—1,0 млн лет, среднее из определений равно 0,84 млн лет (см. табл. 2). Это те же значения, что и для вьетнамских тектитов, что еще более усиливает сходство между теми и другими стеклами. Трековый возраст, как и в предыдущем случае, несколько меньше.

Близкие значения возраста тектитоподобных стекол Жаманшина были получены и другими исследователями [7, 8, 18, 19]. Тем не менее кратер Жаманшин обладает чертами, позволяющими предполагать гораздо более молодой его возраст. Имми являются, по Э. П. Изоху [2], хорошо сохранившийся насыпной вал; нахождение на его поверхности тектитов (иргизитов и кислых жаманшинитов) и различных импактитов в виде четко обособленных непременных ареалов; однородное заполнение кратерной воронки при отсутствии признаков среднепозднеплейстоценового осадконакопления, т. е. присущего данному региону гетерогенного четвертичного разреза; хорошая сохранность мелких кратеров-сателлитов и т. п.

Один из важных путей решения вопроса о геологическом возрасте кратера — установление изотопного возраста не только тектитов, но и импактитов, к которым в Жаманшине относятся так называемые основные жаманшиниты, т. е. андезитоподобные стекла и шлаки, возникшие за счет раннекарбонатовой вулканогенной толщи, и другие импактиты разного состава. Изотопный возраст их до сих пор никем не определялся. Теперь это представляется первоочередной задачей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изох Э. П. Парадокс возраста тектитов и полёй их выпадения // Метеоритика.— 1985.— Вып. 44.— С. 127—134.
2. Изох Э. П. Петрохимия пород мишени, импактитов и тектитов астроблемы Жаманшин // Космическое вещество и Земля.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986.— С. 159—203.
3. Изох Э. П., Ле Дык Ан. Тектиты Вьетнама. Гипотеза кометной транспортировки // Метеоритика.— 1983.— Вып. 42.— С. 158—169.
4. Кашкаров Л. Л., Генаева Л. П., Лаврухина А. К. и др. Возраст вьетнамских тектитов по трекам осколков деления урана // Тезисы докладов XIX Всесоюзной конференции по метеоритике и космохимии.— М.: ГЕОХИ АН СССР, 1984.— С. 112.
5. Кашкаров Л. Л., Генаева Л. П., Лаврухина А. К. и др. Возраст вьетнамских тектитов по трекам осколков деления урана // Метеоритика.— 1986.— Вып. 45.— С. 165—170.
6. Масайтис В. Л., Селивановская Т. В., Изох Э. П. Импактиты первого рода из астроблемы Жаманшин // Метеоритика.— 1986.— Вып. 45.— С. 142—149.
7. Флоренский П. В., Дабига А. П. Метеоритный кратер Жаманшин.— М.: Наука, 1980.— 127 с.
8. Флоренский П. В., Перельгин В. П., Баженов М. Л. и др. Комплексное определение возраста метеоритного кратера Жаманшин // Астроном. вестник.— 1979.— Т. 13, № 3.— С. 178—186.
9. Fleischer R. L., Price P. B. Fission track evidence for the simultaneous origin of tektites and other natural glasses // Geochim. et Cosmochim. Acta.— 1964.— V. 28, N 6.— P. 755—760.

10. Fleischer R. L., Price P. B., Viertel J. R. M., Woods R. T. Ages of Darwin Glass, Macedon Glass and Far-Eastern tektites // *Geochim. et Cosmochim. Acta.*— 1969.— V. 33, N 9.— P. 1074—1074.
11. Gentner W., Störzer D., Wagner G. A. New fission track ages of tektites and related glasses // *Geochim. et Cosmochim. Acta.*— 1969.— V. 33, N 9.— P. 1075—1081.
12. Glass B. P. Austral-Asian microtektites and the stratigraphic age of the australites // *Geol. Soc. Amer. Bull.*— 1978.— V. 89.— P. 1455—1458.
13. Kashkarov L. L., Genaeva L. I., Lavrukhina A. K., Izokh E. P. Fission track ages of Vietnam tektites // *Meteoritics.*— 1985.— V. 20, N 4.— P. 679—680.
14. Koeberl O. Geochemistry of tektites and Impact glasses // *Earth and Planet. Sci. Lett.*— 1986.— N 14.— P. 323—350.
15. McDougall I., Lovering J. F. Apparent K—Ar dates on cores and excess Ar in flanges of australites // *Geochim. et Cosmochim. Acta.*— 1969.— V. 33, N 9.— P. 1057—1070.
16. O'Keefe J. A. Tektites and their origin.— Amsterdam e. a.: Elsevier, 1976.— 254 p.
17. Schaeffer O. A., Zanringer J. Tektites // *Potassium-Argon Dating.*— N. Y.: Springer-Verlag, 1966.— P. 162—173.
18. Störzer D. The fission track age of HNa/K australites revised // *Meteoritics.*— 1985.— V. 20, N 4.— P. 765—766.
19. Störzer D., Wagner G. A. Fission track dating of meteorite impacts // *Meteoritics.*— 1977.— V. 12, N 3.— P. 368—369.
20. Störzer D., Wagner G. Fission track dating of Elgygytgyn, Popigai and Zhambashin impact craters: no sources for Austral-Asian or North-American tektites // *Meteoritics.*— 1979.— V. 14, N 4.— P. 541—542.
21. Störzer D., Wagner G. A. Australites older than indoshinites: Evidence from fission-track plateau dating // *Naturwissenschaften.*— 1980.— Bd 67, N 1.— S. 90—91.
22. Störzer D., Wagner G. A. Two discrete tectite-forming events 140 thousand years apart in the Australian-Southeast Asian area // *Meteoritics.*— 1980.— V. 15, N 4.— P. 372.
23. Zahringer J. K—Ar measurements of tektites // *Radio-active dating (Proc. of the LAEA Symposium. Athens, Nov. 19—23, 1962)* — Vienna: Intern. Atomic Energy Agency, 1963.— P. 289—305.

**В. А. Паньчев, Л. А. Орлова, Э. П. Изох,
Л. Д. Сулержицкий**

О ВОЗРАСТЕ ТЕКТИТОНОСНОГО ГОРИЗОНТА ВЬЕТНАМА ПО РАДИОУГЛЕРОДНЫМ ДАННЫМ

На всей территории Вьетнама, т. е. на протяжении около 2200 км с юга на север, тектиты приурочены только к одному стратиграфическому уровню, или горизонту, в подошве маломощного слоя лёссовидных покровных отложений*, которые перекрывают любые более древние образования, начиная с докембрийских гнейсов и кончая позднелетстоновыми галечными отложениями 10—15-метровых надпойменных террас. Породы, подстилающие лёссовидный

* См. статью Э. П. Изоха, Ле Дык Ана в наст. сб.

Радиоуглеродный возраст углей из тектитоносного горизонта

№ п/п	Лабораторный номер	Авторский номер	Район	Мощность покровы, м	Положение в покровном слое	Возраст, лет	Примечания
1	СОАН-2471	ТК-3	18 км к северу от г. Хошимина	0,3—1	По всей мощности	1060±140	Вместе с керамикой
2	СОАН-2472	ТК-6	Там же	0,3—1	Близ основания	8670±40	
3	ГИН-1	»	»	0,3—1	Там же	8770±600	
4	СОАН-2473	ТК-9	45 км к северо-западу от г. Хошимина	0,5—1	По всей мощности	1170±60	С керамикой
5	СОАН-2474	ТК-10/1	Там же	0,3—0,5	Там же	385±65	Там же
6	СОАН-2475	ТК-15	Центр г. Далат	0,4	Близ основания	3855±45 3840±45	»
7	ГИН-2	ТК-16	Западная окраина г. Далат	0,3—0,5	Там же	10 210±100	
8	СОАН-2476	ТК-17	Водопад Прен к юго-западу от г. Далат	0,5	Средняя часть	2130±65	
9	СОАН-2478	ТК-26в	Близ пос. Намдан, к северо-западу от г. Винь	»	Нижняя часть	1215±110	С керамикой
10	СОАН-2479	ТК-29б	Район г. Хонггай	0,3—0,4	По всей мощности	1435±35	
11	СОАН-2	ТК-38а	Район г. Шонтай (к западу от г. Ханоя)	0,3	На поверхности	0,0	Современное костьрище, $^{14}\text{C} = 166, 36\%$

покров, в большинстве случаев латеритизированы и поэтому лишены органических остатков, пригодных для определения возраста. В самом покрове, который практически не затронут процессами латеритизации, напротив, часто встречается древесный уголь, что дает возможность определить верхнюю возрастную границу тектитоносного горизонта по ^{14}C . Результаты радиоуглеродного датирования 10 проб угля, взятых Э. П. Изохом непосредственно в поле в начале 1986 г., приведены в таблице.

Измерение остаточной активности радиоуглерода выполнялось на двухканальной установке по бензолно-сцинтилляционному варианту. Для расчета возраста принят период полураспада ^{14}C , равный 5570 лет. Точность и воспроизводимость измерений видна из сравнения результатов повторных определений пробы Тк-15 в лаборатории ИГиГ СО АН СССР, а также параллельного контрольного анализа пробы Тк-6 в лаборатории ГИН АН СССР. Как видно из таблицы, совпадение дат вполне удовлетворительное, несмотря на то что в ГИН АН СССР замеры были сделаны по очень малой навеске.

Прокомментируем результаты. Прежде всего обращают на себя внимание вариации возраста в весьма широких пределах: от 10 200 до 385 лет, не считая современного угля, взятого в качестве контроля. На первый взгляд полученные данные противоречат выводу об одноактном, сугубо эпизодическом формировании лессовидного покрова сразу же вслед за выпадением тектитов, о чем говорится в статье С. С. Сухоруковой, Е. Ф. Ковалевой, Э. П. Изоха в настоящем сборнике. Более того, эти данные оказались несколько неожиданными, поскольку в поле складывалось впечатление о едином крупном пожаре, оставившем свой след в виде древесного угля после выпадения тектитового «ливня» на всей территории Вьетнама. Однако углубленный анализ полевых наблюдений и вещества самого лессовидного покрова позволяет снять это кажущееся противоречие.

Дело в том, что лессовидный покров, перекрывающий тектитоносный горизонт, в приподнятых областях является самым верхним членом стратиграфического разреза. Выше него залегают только гумусовый горизонт, или собственно почва. Ввиду высокой плотности заселения территории Вьетнама с глубокой древности, рассматриваемый покров во многих местах, по существу, представляет собой культурный слой. Об этом, в частности, свидетельствуют многочисленные находки вместе с углем обломков керамической посуды, в том числе покрытой глазурью. В 5 из 10 проб зафиксирована древняя керамика, и это обстоятельство специально отмечено в таблице. Таким образом, часть проанализированных углей взята заведомо из культурного слоя и по отношению к лессовидному покрову является более поздней, вторичной. Примечательно, что подавляющее большинство дат (8 из 10) меньше 3800 лет, преимущественно около 1000 лет, что, по-видимому, отвечает периоду широкого распространения подсеčno-огневого земледелия. Последнее, кстати, применяется горными племенами во Вьетнаме и сейчас.

Лесные пожары, обусловленные естественными причинами, в условиях влажных тропиков, надо полагать, весьма редки. Ве-

роятно, именно по этой причине в нашем сборе отсутствуют угли с возрастом от 4 до 8,5 тыс. лет. Разумеется, статистического материала еще крайне недостаточно для уверенных суждений. Дальнейшие исследования в данном направлении обещают быть интересными.

Наиболее близкими ко времени формирования лессовидного покрова, т. е. к моменту выпадения тектитов на Землю, представляются даты 8670—8770 лет (проба Тк-6) и 10 210 лет (проба Тк-16). Проба Тк-6 взята в самом основании покрова и представляет собой крупные гнезда угля диаметром 15—20 см, сохранившие структуру древесных стволов. Непосредственно под покровом здесь расположен горизонт мелкого щебня и латеритовых конкреций с неокатанными и перемещенными теклитами, а под ним — латеритизированные позднечетвертичные галечники, коррелятные 10—15-метровой террасе.

Проба Тк-16 отобрана также в основании лессовидного покрова, лежащего непосредственно на гранитной дресве, но притом без существенной латеритизации. Уголь раздроблен, перемешан с лёссом, и поэтому не исключена вероятность его местного переотложения. К этому же стратиграфическому уровню или даже чуть ниже углей приурочены многочисленные находки тектитов, характерные для всего Далатского ареала.

Таким образом, происхождение только самых древних углей с возрастом около 8700 и 10 200 лет можно связать с естественными причинами: ударами молний, тектитовым ливнем и сопровождавшими его катастрофическими явлениями. Для проверки этого предположения необходимы дополнительные полевые исследования. Необходимо изучить внутреннюю структуру лессовидного покрова с тем, чтобы уверенно отличать участки с нарушенным его залеганием, обусловленным постоянно действующими близ земной поверхности природными и человеческими факторами, от ненарушенных, первичных участков. Только в последних, где угли не привнесены и не переотложены, есть вероятность найти следы пожаров, сопровождавших тектитовый ливень, и максимально точно датировать это событие. Крайне важно также продолжить поиски углей и других органических остатков в отложениях, подстилающих тектитоносный горизонт в областях как современного воздымания, так и погружения (в дельтах и прибрежных равнинах).

Полученные нами результаты позволяют с достаточной долей уверенности говорить о том, что тектитовый ливень во Вьетнаме вряд ли мог случиться ранее 9—10 тыс. лет тому назад. Этот вывод хорошо согласуется с геологическими и геоморфологическими данными, приведенными в статье С. С. Сухоруковой, Е. Ф. Ковалевой, Э. П. Изоха в настоящем сборнике. Он находится также в согласии с данными, полученными ранее австралийскими геологами [3, 5, 6, 10]. Так, по данным Е. Джилла [5, 6], древесные остатки ниже тектитового горизонта имеют возраст 7380 и 14 600 лет, угли непосредственно в тектитовом горизонте — 4830, 5350 и 5700 лет, а смола выше него — 3880 лет. Австралийские геологи, опираясь на эти и другие геологические данные, давно отстаивают реальность воз-

растного парадокса тектитов, хотя и не пытаются его объяснить. Как пишут Р. Чалмерс с соавторами, «решения этому парадоксу нет и остается надеяться на какое-либо открытие» [3].

Сейчас доказательства реальности возрастного парадокса накапливаются все больше. Главной задачей становится уточнение его пределов, т. е. абсолютного возраста тектитов (и его вариаций) и датировки их выпадения на Землю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изох Э. П. Парадокс возраста тектитов и полей их выпадения // Метеоритика.— 1985.— Вып. 44.— С. 127—134.
2. Изох Э. П., Ле Дык Ан. Тектиты Вьетнама. Гипотеза кометной транспортировки // Метеоритика.— 1983.— Вып. 42.— С. 158—169.
3. Chalmers R. O., Henderson E. P., Mason B. Occurrence, distribution and age of Australian tektites // *Smithson. Contribs Earth Sci.*— 1976.— N 17.— P. 1—46.
4. Fontaine H., Hoang Thi Than. Alluvions anciennes du Nam-Phan septentrional // *Arch. Geol. du Viet Nam.*— 1971.— N 14.— P. 145—168.
5. Gill E. D. Quaternary geology, radio-carbon datings and the age of australites // *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.*— 1965.— V. 84.— P. 415—432.
6. Gill E. D. Age of australite fall // *J. Geophys. Res.*— 1970.— V. 75, N 5.— P. 996—1002.
7. Glass B. P. Comparison of the chemical variations in a flanged australite with chemical variation among «normal» Austral-Asian microtektites // *Earth and Planet. Sci. Lett.*— 1970.— V. 9, N 3.— P. 240—246.
8. Glass B. P. Zhamanshin crater: possible source of the Austral-Asian tektites (?) // *Geology.*— 1979.— N 7.— P. 351—353.
9. Lacroix A. Les tektites sans formes figurée de L'Indochine // *C. r. Acad. Sci.*— Paris, 1935.— V. 200.— P. 2129—2132.
10. Lovering J. F., Mason B., Williams G. E., McColl D. H. Stratigraphical evidence for the terrestrial age of australites // *J. Geol. Soc. Austral.*— 1972.— V. 18, N 4.— P. 409—418.
11. O'Keefe J. A. Tektites and their origin.— Amsterdam e. a.: Elsevier, 1976.— 254 p.
12. Saurin E. Sur quelques gisements de tektites de L'Indochine du Sud // *C. r. Acad. Sci.*— Paris, 1935.— V. 200.— P. 246—248.

И. П. Пасечник, И. Т. Зоткин

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОНЫ СВЕТОВОГО ОЖОГА ДЕРЕВЬЕВ В ЭПИЦЕНТРЕ ТУНГУССКОЙ КАТАСТРОФЫ

В статье Н. В. Васильева и Ю. А. Львова еще в 1974 г. описана выявленная и оконтуренная зона светового ожога деревьев в эпицентре взрыва Тунгусского метеорита. По конфигурации эта зона близка к овалу с осями 20×30 км, вытянутому примерно с запада

на восток [4]. Представляет большой интерес дальнейший поиск других возможных проявлений последствий, связанных с мощным световым и тепловым излучением Тунгусского взрыва. С этой точки зрения мы попытались более подробно изучить опубликованный Р. А. Скворень [3] снимок района эпицентра Тунгусского взрыва с искусственного спутника Земли (ИСЗ) ERTS-1, на котором выделено светлое пятно диаметром около 10 км; его природа до настоящего времени не установлена.

Ниже приводится описание выявленной на снимке области спектрофотометрических особенностей и сопоставление ее с зоной ожогов деревьев.

Снимок района падения Тунгусского метеорита (102° в. д., 61° с. ш. [4, 5] был получен спектрофотометром с ИСЗ ERTS-1 21 августа 1973 г. около 10 ч 40 мин местного времени. Высота Солнца в этот момент составляла 39° , азимут 156° . На имеющемся позитиве совмещены изображения трех спектральных каналов: 4; 5 и 7, т. е. синего, зеленого и красного. Причем при печати на цветную пленку синие цвета изображаются желтым, зеленые — красным, красные — синим (так указывает маркировка на позитиве). На изображении на (красном) фоне тайги видны белые кучевые облака и черные тени от них. Однако центр Тунгусской катастрофы почти свободен от облачности (левый нижний угол). Север на изображении грубо приближенно вверху. Заметны голубые (желтоватые в натуре) дымы лесных пожаров.

На увеличенном как цветном, так и черно-белом отпечатках окрестностей эпицентра хорошо просматриваются известные топографические подробности: ленты высокорослого леса на хорошо дренированных почвах вдоль долины рек и ручьев. Без труда замечаются очень темные участки гарей, по-видимому, разного возраста, имеющих на обозреваемой площади размеры до 10—15 км. Информативность космического снимка допускает возможность обнаружения какого-либо эффекта, связанного с Тунгусской катастрофой 30 июня 1908 г. В порядке осторожной и сугубо предварительной постановки задачи, например, можно обратить внимание на светлое пятно, окружающее эпицентр Тунгусской катастрофы (см. рисунок), отмеченное в работе Р. А. Скворень [3]. Эта область, вытянутая грубо в широтном направлении, имеет размеры около 12×9 км. Она хорошо видна и на оригинальном позитиве, и на черно-белом отпечатке, на цветных копиях (Olgwocolor) — хуже. Как объяснить наблюдаемое явление?

Область занята достаточно однородной растительностью (сосна и лиственница в возрасте около 60—65 лет). Каких-либо резких отличий характера насаждений в области «светлого пятна» от окружающей территории не существует. Это подтверждается как личными наблюдениями участников многочисленных Тунгусских метеоритных экспедиций, так и сравнением с лесотаксационными картами. Далее, светлая окраска растительности не связана с топографией местности. Она прослеживается, например, и на пизменности Западного Торфяника, и на сопках, разница высот которых дости-

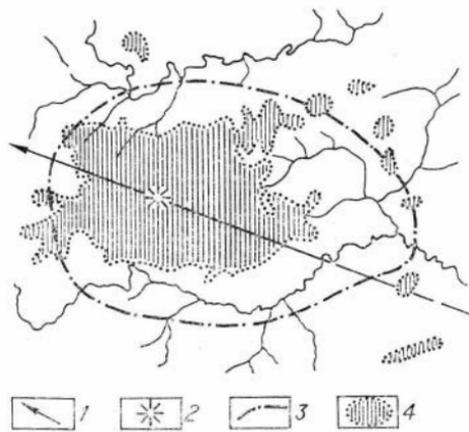


Схема расположения зоны ожога ветвей деревьев [1] и светлого пятна в районе эпицентра взрыва Тунгусского метеорита.

1 — траектория полета метеорита; 2 — эпицентр взрыва; 3 — контур светлого пятна; 4 — зона ожога.

гает значительной величины. Не отмечается в данном случае связи и с крутизной склона [2, 4, 5].

Наличие посветления растительности или почвы нельзя также прямо связывать с температурными характеристиками поверхности, так как спектрофотометр регистрировал лишь ближнюю инфракрасную область (до 1,1 мкм), а не тепловое излучение [6, 7].

Из всех известных нам проявлений Тунгусского взрыва «светлое пятно» наиболее близко совпадает с так называемой «областью светового ожога». Наиболее полный материал по изучению распространения ожоговых травм ветвей деревьев в районе эпицентра Тунгусской катастрофы представлен в цитированной статье Н. В. Васильева и Ю. А. Львова [1] (см. рисунок). В результате крайне трудоемких многолетних полевых исследований область ожоговых повреждений определяется как овал с осями 20×13 км, вытянутый в общем с запада на восток. Сравнение границ ожога и светлого пятна, а также ориентации говорит об их близости, хотя пятно более изометрично, а также концентрично эпицентру. Возможно, что генезис обоих эффектов может быть сходным.

Светлое пятно несильно отличается также от «зоны безразличия», где в 1908 г. деревья не были повалены взрывной волной, а образовали мертвый стоячий лес; впоследствии деревья падали беспорядочно. Как известно, четкий радиальный вывал начинается лишь в нескольких километрах от эпицентра. Правда, радиус области безразличия на 1—2 км меньше радиуса светлого пятна. Отметим также, что она, по-видимому, территориально незначительно отличается от области горелого слоя 1908 г. в торфе [4, 5].

Не разрешая вопрос окончательно, мы указываем лишь на необходимость и перспективность изучения спектральной отражательной способности местности в районе Тунгусского метеорита наземными, аэросъемочными и космическими средствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Н. В., Львов Ю. А. Лучистый ожог деревьев в районе падения Тунгусского метеорита // Природа.— 1974.— № 3.— С. 22—23.
2. Несветайло В. Д. Об одном типе термических поражений деревьев в районе падения Тунгусского метеорита // Космическое вещество на Земле.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986.— С. 69—75.
3. Скворець Р. А. Версия «гигантские снежинки» // Наука и жизнь.— 1975.— № 6.— С. 22—23.
5. Флоренский К. П., Вронский Б. И., Емельянов Ю. М. и др. Предварительные результаты Тунгусской метеоритной экспедиции 1958 г. // Метеоритика.— 1960.— Вып. 19.— С. 103—134.
4. Флоренский К. П. Предварительные результаты Тунгусской метеоритной экспедиции 1961 г. // Метеоритика.— 1963.— вып. 23.— С. 3—29.
6. Farth resours technology satellite // Interavia air lett.— 1972.— № 7535.— P. 5.
7. ERTSsatellite on board equipment // Interavia air lett.— 1972.— № 7535.— P. 6.

СОДЕРЖАНИЕ

Васильев Н. В. История изучения проблемы Тунгусского метеорита (1980—1985 гг.)	3
Дорошин И. К. К поиску вещества Тунгусского метеорита в торфах	31
Цынбал М. Н., Шнитке В. Э. Об ожоге и пожаре в районе падения Тунгусского метеорита	41
Нагорнов В. И. Моделирование процесса свободно-конвективного теплообмена при Тунгусском взрыве	72
Явнель А. А. О моменте пролета и траектории Тунгусского болида 30 июня 1908 г. по наблюдениям очевидцев	75
Зоткин И. Т., Чигорин А. Н. Определение радианта Тунгусского метеорита по визуальным наблюдениям очевидцев	85
Бидюков Б. Ф. Термолюминесцентный анализ почв района Тунгусского падения	96
Дмитриев А. Н. Тунгусский феномен и геомагнитный режим 1908 г.	105
Кондратьев К. Я., Никольский Г. А., Шульц Э. О. Тунгусское космическое тело — ядро кометы	114
Каймаков Е. А., Лизункова И. С. Деструкция кометных льдов	143
Бронштэн В. А., Гребенников В. С., Рабунский Д. Д. Каталог электрофонных болидов	158
Изох Э. П., Ле Дык А. Н. Геологическая позиция тектитов и их значение для четвертичной геологии и геоморфологии Вьетнама	205
Сухорукова С. С., Ковалева Е. Ф., Изох Э. П. Литология и генезис покровных отложений Вьетнама, ассоциированных с тектитами	231
Аракелянц М. М., Шуколоков Ю. А., Данг Ву Минь, Изох Э. П. К—Аг-возраст тектитов Вьетнама и астроблемы Жаманшин	239
Панычев В. А., Орлова Л. А., Изох Э. П., Сулержицкий Л. Д. О возрасте тектитоносного горизонта Вьетнама по радиоуглеродным данным	244
Пасечник И. П., Зоткин И. Т. Спектрофотометрические особенности зоны светового ожога деревьев в эпицентре Тунгусской катастрофы	248

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТЕОРИТИКИ В СИБИРИ

Редакторы издательства А. Ю. Степанова, И. С. Цитович
Художественный редактор М. Ф. Глазырина
Художник А. И. Смирнов
Технический редактор Л. П. Минеева
Корректоры Е. Н. Зиминая, О. Л. Шабалина

ИБ № 34280

Сдано в набор 10.02.88. Подписано к печати 27.06.88. МП-13044. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага множительных аппаратов. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Усл. печ. л. 16. Усл. кр.-отт. 16. Уч.-изд. л. 19.1. Тираж 1000 экз. Зак № 46. Цена 3 р. 90 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099 Новосибирск, ул. Советская, 18.

4-я типография издательства «Наука». 630077 Новосибирск, ул. Станиславского, 25.

История изучения проблемы Тунгусского метеорита (1980—1985 гг.).
Васильев Н. В. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Сделан обзор научных работ по проблеме Тунгусского метеорита за 1980—1985 гг. Интерес к Тунгусскому метеориту объясняется выросшими возможностями аналитической техники, стремительным развитием разделов астрономии, связанных с эволюцией планетных систем и, наконец, сменой традиционных парадигм. Рассматриваются исследования по физике Тунгусского взрыва и поискам остатков вещества. Подробно анализируются работы, посвященные геофизическим и биологическим последствиям Тунгусской катастрофы. Обсуждаются новые гипотезы природы Тунгусского тела.

Табл. 1. Библиогр. 120.

УДК 552.6 + 582.341

К поиску вещества Тунгусского метеорита в торфах. Дорошин И. К. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Критически рассмотрена методика поиска вещества Тунгусского метеорита в торфах. Сделан вывод о ее несовершенстве как в части послыоного датирования торфа, так и при идентификации космогенных микросферул.

Ил. 4. Табл. 4. Библиогр. 15.

УДК 523.682.4:523.642

Об ожоге и пожаре в районе падения Тунгусского метеорита. Цынбал М. Н., Шнитке В. Э. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Проанализированы результаты проведенных ранее исследований термического поражения деревьев и лесного пожара, вызванного взрывом Тунгусского космического тела. Показано, что картина этих поражений на местности находится в противоречии с большинством существующих гипотез о природе взрыва. Обосновывается предположение о том, что наиболее вероятной причиной термических поражений деревьев и возникновения лесного пожара является воздействие высокотемпературных продуктов объемного взрыва газозооной смеси, образовавшейся при испарении Тунгусского космического тела.

Ил. 11. Библиогр. 78.

УДК 536.25:552.511

Моделирование процесса свободно-конвективного теплообмена при Тунгусском взрыве. Нагорнов В. И. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Проведено численное моделирование процесса конвективного теплообмена, образовавшегося вследствие взрыва Тунгусского метеорита. Математическая модель основана на системе упрощенных (плотность не зависит от давления) двумерных уравнений Навье—Стокса с учетом излучения и турбулентности. Путем численного эксперимента получены распределения температуры и плотности, траектория движения воздуха в различные моменты времени. Определена физическая картина процесса.

Ил. 3. Библиогр. 7.

УДК 523.682.4

О моменте пролета и траектории Тунгусского болида 30 июня 1908 г. по наблюдениям очевидцев. Явнель А. А. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Путем сравнения данных о наблюдении Тунгусского болида 30 июня 1908 г., полученных в разные годы, выяснено, что наиболее точные результаты о моменте его пролета, близкие к сейсмическим данным, показывают сведения 1908 г. (7—8 ч утра), в то время как свидетельства очевидцев, собранные в 1959—1974 гг., содержат большие ошибки и могут относиться к другим болидам. На основании наблюдений, полученных в 1908 г., оценены азимут траектории болида (70—130° к востоку от меридиана) и угол наклона траектории (25° к горизонту). Эти результаты не противоречат расчетам соответствующих значений, произведенным на основании изучения картины вывала леса. В итоге подтверждено, что 30 июня 1908 г. наблюдался один утренний болид, двигающийся в общем направлении с востока на запад.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 16.

Определение радианта Тунгусского метеорита по визуальным наблюдениям очевидцев. Зоткин И. Т., Чигорин А. Н. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Проанализированы показания очевидцев, содержавшие астрометрические данные. Рассмотрены некоторые психофизиологические эффекты, которые необходимо учитывать при интерпретации таких сведений. Имеющийся наблюдательный материал свидетельствует о том, что Тунгусский болид отличался от типичных болидов только своими масштабами. Изложен метод определения радианта болида путем прямого вычисления невязок наблюдений. Получено положение радианта: азимут 126° , угловая высота 20° , ошибка $\pm 12^\circ$. Подтвержден восточный вариант траектории.

Ил. 6. Библиогр. 16.

УДК 523.6 + 535.377

Термолюминесцентный анализ почв района Тунгусского падения. Бидюков Б. Ф. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Приведены результаты исследований термолюминесценции минеральной фракции почв района падения Тунгусского метеорита. Дана методика полевых работ и камеральной обработки почвенного материала. На основе статистической обработки полученных данных сделан вывод о наличии аномалий в распределении светосумм термолюминесценции, возможно с радиационным воздействием факторов Тунгусского взрыва.

Ил. 3. Табл. 4. Библиогр. 17.

УДК 551

Тунгусский феномен и геомагнитный режим 1908 г. Дмитриев А. Н. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Изложен результат анализа геомагнитного режима 1908 г. Выявлена специфика геомагнитных возмущений — снижение числа возмущений средней интенсивности и резкое увеличение количества слабых возмущений и сильных геомагнитных бурь. Высказано предположение о солнечном происхождении этой специфики. Приведены частоты встречаемости крупных болидов.

Ил. 5. Табл. 3. Библиогр. 25.

УДК 523.682.4:523.64 + 551.590.25

Тунгусское космическое тело — ядро кометы. Кондратьев К. Я., Никольский Г. А., Шульц Э. О. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

На основе анализа данных астрофизической лаборатории Смитсоновского института о спектральной прозрачности атмосферы за 1905—1912 гг., данных мировой болидной сети, других литературных источников в статье приводятся аргументы в пользу кометного происхождения Тунгусского космического тела, делаются оценки скорости его вхождения в атмосферу, массы и объема. Высказывается предположение о химической природе взрыва, о кооперативном эффекте в возникновении Тунгусского космического тела и аномально большого числа болидов, сопутствовавших ему. Дается критика ряда работ по проблеме.

Ил. 9. Табл. 2. Библиогр. 34.

УДК 523.6

Деструкция кометных льдов. Каймаков Е. А., Лизункова Н. С. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Предложен новый подход к развитию кометы как явления. В его основе — результаты лабораторных экспериментов по изучению физико-химических свойств моделей кометных ядер из водяного льда с примесями. Показано, что при нагревании приближающегося к Солнцу кометного ядра неизбежна термобародеструкция его поверхностного слоя, результатом которой является возникновение вокруг ядра облака льдистых тел — основного источника газопылевого выделения кометы. На конкретных примерах проиллюстрировано, что развиваемое представление находится в хорошем согласии с данными фотометрических наблюдений комет. Рассмотрены некоторые важные следствия новой гипотезы и возможность их экспериментальной проверки.

Ил. 2. Табл. 4. Библиогр. 25.

Каталог электрофонных болидов. Бронштейн В. А., Гребенников В. С., Рабунский Д. Д. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

По литературным данным и из архива Комитета по метеоритам АН СССР собраны сведения о 343 электрофонных болидах, наблюдавшихся в разные годы. Приведены гипотезы, объясняющие электрофонный эффект.

Ил. 7. Библиогр. 6.

УДК 552.64 + 551.79

Геологическая позиция тектитов и их значение для четвертичной геологии и геоморфологии Вьетнама. Изох Э. П., Ле Дык А. Н. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Приведены новые данные о том, что возраст тектитового горизонта, имеющего маркирующее значение, составляет примерно 10 тыс. лет, а не 0,6—0,7 млн лет, как было принято считать ранее. Это влечет за собой необходимость коренного пересмотра существующих представлений о четвертичной истории развития территории Вьетнама. Подтверждена реальность известного возрастного парадокса тектитов, т. е. резкой разницы между их радиологическим и геологическим возрастам, что является доказательством внеземного происхождения тектитов. Показано, что падение тектитов на Земле в начале голоцена сопровождалось мощными паводками, пылевыми бурями и другими катастрофическими явлениями, возможно имевшими глобальный характер.

Ил. 21. Библиогр. 12.

УДК 551.794(597.7)

Литоология и генезис покровных отложений Вьетнама, ассоциированных с тектитами. Сухорукова С. С., Ковалева Е. Ф., Изох Э. П. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Впервые приведены результаты гранулометрического, минералогического и химического анализов лессовидных покровных голоценовых отложений, перекрывающих тектитоносный горизонт во Вьетнаме. Удостоверен их автохтонный характер и принадлежность к субаральным элювиально-делювиальным образованиям, связанным своим происхождением с выпадением на землю тектитов.

Табл. 3.

УДК 523.684

К—Аг-возраст тектитов Вьетнама и астроблемы Жаманшин. Аракелян М. М., Шуклолюков Ю. А., Данг Ву Минь, Изох Э. П. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Возраст проанализированных вьетнамских тектитов варьирует от 0,68 до 0,99 млн лет, для 10 образцов он составляет в среднем 0,81 млн лет, что соответствует наиболее часто встречающимся датировкам австрало-азиатских тектитов вообще. Образцы были отобраны из стратиграфического горизонта с возрастом 5—10 тыс. лет, что является одним из доказательств возрастного парадокса тектитов во Вьетнаме. Возраст кислых жаманшинитов, аналогичных тектитам типа Муонг-Нонг, от 0,73 до 1,01 млн лет, для 5 образцов он в среднем 0,84 млн лет, что подчеркивает их сходство с тектитами Вьетнама. Намечены задачи дальнейших исследований, необходимых для решения проблемы происхождения тектитов.

Табл. 2. Библиогр. 23.

УДК 550.93 + 552.64(597)

О возрасте тектитоносного горизонта во Вьетнаме по радиоуглеродным данным. Паньчев В. А., Орлова Л. А., Изох Э. П., Сулержицкий Л. Д. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Приведены первые для Вьетнама определения по ^{14}C возраста 10 проб древесного угля, взятых из лессовидного покрова, непосредственно перекрывающего тектитоносный горизонт. Возраст угля колеблется от 10 210 до 385 лет и вплоть до современного. Сделан вывод, что выпадение тектитов во Вьетнаме произошло не ранее 9—10 тыс. лет тому назад, что подтверждает известный парадокс возраста тектитов и свидетельствует в пользу их внеземного происхождения.

Табл. 1. Библиогр. 12.

Спектрофотометрические особенности зоны светового ожога деревьев в эпицентре Тунгусской катастрофы/Пасечник И. П., Зоткин И. Т. Актуальные вопросы метеоритики в Сибири.— Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988.

Проведено сопоставление зоны светового ожога деревьев в эпицентре Тунгусской катастрофы, установленной Н. В. Васильевым и Ю. А. Львовым, и области спектрофотометрической особенности светлого пятна в этом же районе, выявленного на снимке ИСЗ FRTS-1. Высказывается предположение, что генезис обоих эффектов может быть сходен, и указывается на необходимость и перспективность изучения спектральной отражательной способности местности в районе взрыва наземными, аэрофотосъемочными и космическими средствами.

Лит. 1. Библиогр.: 7 назв.