

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ

МЕТЕОРИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СИБИРИ

75 лет Тунгусскому феномену

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



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Новосибирск • 1984

13. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. М.: Наука, 1976. 583 с.
14. Лебединцев В. Н., Портныгин Ю. И. О механизме дробления мелких метеорных тел в атмосфере. — Докл. АН СССР, 1966, т. 168, № 3, с. 543—546.
15. Левин Б. Ю. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 293 с.
16. Лох У. Динамика и термодинамика спуска в атмосфере планет. М.: Мир, 1976. 276 с.
17. Мартин Дж. Вход в атмосферу. М.: Мир, 1969. 320 с.
18. Термодинамические свойства индивидуальных веществ/Гурвич Л. В., Хачкурузов Г. А., Медведев В. А. и др. М.: Изд-во АН СССР, 1962, т. 1. 1162 с.; т. 2. 916 с.
19. Яковлев О. И., Ефимов А. И., Матюгов С. С. и др. Ночная атмосфера Венеры по результатам радиопросвечивания с помощью спутников «Венера-9» и «Венера-10». — Космические исследования, 1978, т. 16, вып. 1, с. 113—119.

В. К. Журавлев, А. Н. Дмитриев

ГЕЛИОФИЗИЧЕСКАЯ ГИПОТЕЗА ПРИРОДЫ ТУНГУССКОГО ФЕНОМЕНА

Актуальность поиска новой модели. К настоящему времени возникли предпосылки для построения общей теории Тунгусского феномена 1908 г., по традиции называемого Тунгусским метеоритом. Такая теория, обобщив обширный фактический материал, собранный экспедициями, поставила бы ведущиеся полевые работы на более надежную основу и явилась бы следующим шагом к пониманию действительной природы необычного и сложного явления. Пока же имеющиеся расчетные работы, охватившие как теоретический анализ аэродинамики явления, так и машинные и натурные эксперименты, не дали более или менее согласованной модели феномена в целом. Не удалось существенно уточнить фундаментальные параметры феномена, оцененные на ранних этапах анализа полевого материала (тротиловый эквивалент, концентрацию энергии, долю световой энергии, высоту энерговыделения, наклон траектории, массу космического тела).

Аэродинамические модели смогли лишь весьма приблизительно воспроизвести схему наземных разрушений [2, 8, 12, 23], оставив в стороне многие важные детали, выявленные при машинной обработке данных полевых исследований. Из этих моделей не вытекают естественным образом другие эффекты и следы катастрофы, такие, как световое и тепловое излучение, глобальный и локальный магнитный эффекты, детали сейсмического возмущения, атмосферно-оптические и метеорологические аномалии, послекатастрофные изменения в биосфере. Очевидны трудности согласования простых аэродинамических схем с совокупностью сообщений очевидцев.

Мы считаем, что главной причиной возникновения известного теоретического тупика в Тунгусской проблеме является сложный характер самой природы феномена и неадекватность традиционных

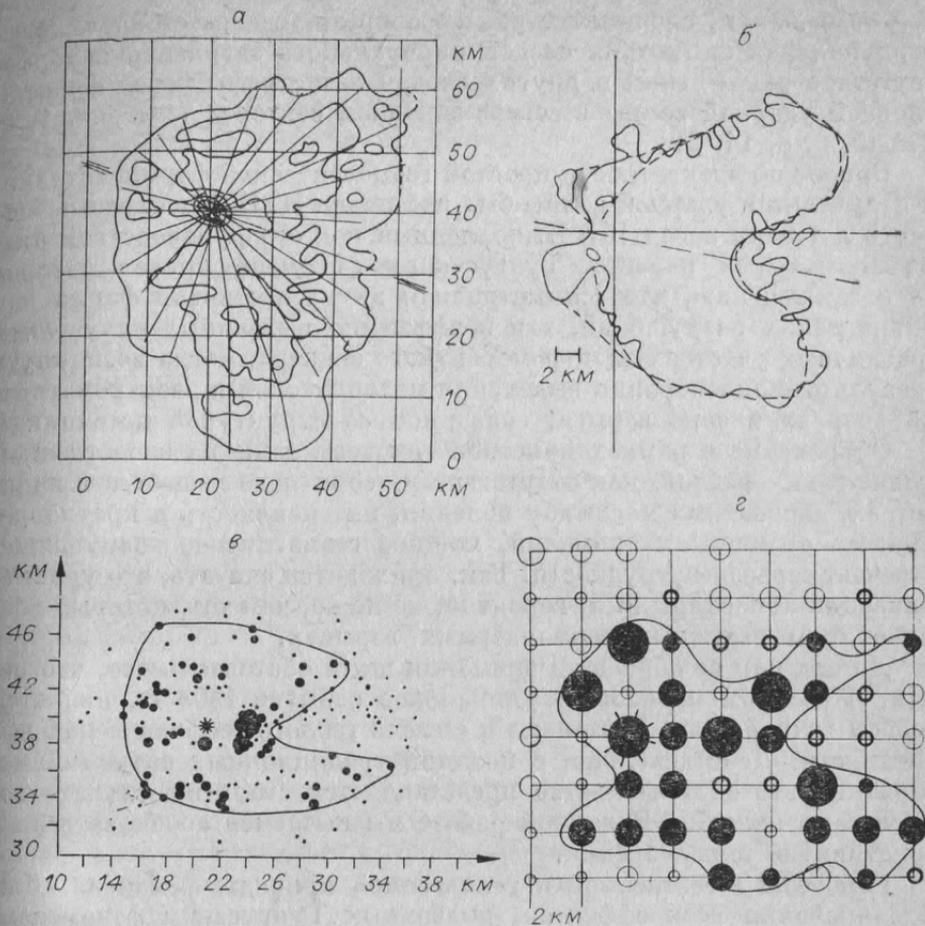


Рис. 1. Следы Тунгусского феномена на поверхности Земли, имеющие форму крыловидных диаграмм.
 а — изодинамы ударной волны, восстановленные по вывалу леса (по В. Г. Фасту [21]); б — зона массового вывала леса, восстановленная по аэрофотосъемкам тайги (по Д. Ф. Анфиногенову); в — зона ожога ветвей лиственниц (по А. Г. Ильину [4]); г — зона биологических (мутантных) аномалий сосны (по Г. Ф. Плеханову [6]).

моделей. Тщательное картирование различных следов Тунгусской катастрофы позволило восстановить «портрет» явления, зафиксированный «запоминающими устройствами» биосферы в последние моменты существования космического объекта. При этом была установлена важная топологическая особенность — двухлепестковая форма изолиний многих эффектов (рис. 1). Общий контур некоторых из этих «бабочек» воспроизводится при моделировании как результат сложения сферической и цилиндрической ударных волн [2, 8, 12, 23]. Однако ни одна из упомянутых аэродинамических моделей не обращает внимания на такие важные особенности тунгусских «бабочек», как симметричные провалы изодинам на западе (см. рис. 1, а), сочетание точечного эпицентра с резкой азимутальной анизотропией

энерговыведения, сложный характер очертаний зоны стоячего леса, нетривиальная симметрия следов минерального загрязнения торфа, отсутствие разрушений и других следов катастрофы перед фронтом головной ударной волны в северо-западном секторе* (см. рис. 1, а, б, в) [5, 6, 8, 14, 21].

Вопрос об адекватности простой геометрической формы источника излучения и ударной волны был поставлен Н. В. Васильевым еще десять лет тому назад [5]. Выполненный под его руководством анализ аномальных явлений Тунгусского феномена привел авторов [6] к заключению, что «симметричная двухлепестковая форма как механических разрушений, так и эффектов, вызванных излучением в различных участках электромагнитного спектра, могла возникнуть в результате анизотропии выделения механической и электромагнитной энергии в зоне взрыва, связанной со структурой источника».

Объяснение в рамках кометной гипотезы даже на качественном уровне таких фактов, как отсутствие метеоритного вещества в количествах, адекватных масштабу явления, интенсивность и кратковременность оптических аномалий, мощное геомагнитное возмущение, встречает серьезные трудности. Так, приходится считать, что уровень ионизации атмосферы был, вероятно, не ниже, чем тот, который возникает при высотных термоядерных взрывах.

До сих пор не обращали внимания на то обстоятельство, что регион, в котором произошло уникальное событие 1908 г., является «особой точкой» нашей планеты в смысле геолого-геофизической выделенности. Действительно, с позиций традиционных ситуаций метеоритики это обстоятельство представляется столь же случайным, как и само явление. В данной работе мы пытаемся обосновать альтернативную точку зрения.

Гипотезы естественной и техногенной природы феномена. Для моделирования всех эффектов, вызванных Тунгусским феноменом, требуется, по-видимому, качественно новый подход к явлению в целом. Даже если ограничиться задачей детального моделирования существенных особенностей зоны механических разрушений и термического действия, необходимо значительно усложнить модель источника. Технически это вполне возможно. Изодинамы ударной волны, «записанные» поваленным лесом, можно воспроизвести, например, взрывая заряд в оболочке, имеющей симметричные зоны усиления и ослабления механической прочности, или конусовидный заряд с кумулирующими выемками и детонатором в носовой части. Нетрудно рассчитать и сконструировать подобную модель, однако при этом возникает трудность ее физической интерпретации.

Гетерогенно-симметричная структура модели наводит на мысль о возможном техногенном происхождении источника и неудивительно, что такая гипотеза (правда, с другими доводами) была высказана уже давно [7]. Нет причины и для нас считать этот вариант объяснения совершенно невероятным. Однако наличная информация,

* Отметим, что к северо-западу от эпицентра взрыва по существу не имеется свидетельских показаний очевидцев феномена.

а также упорядочение и анализ совокупности данных пока не обеспечивают нужной степени строгости предположение об искусственном характере* Тунгусского объекта. Для такого объекта трудно провести границу между возможным и невероятным как в области энергетики и структуры, так и в сфере динамики, химического состава, типов излучений и т. д.

Именно поэтому мы считаем уместным предложить модель, подразумевающую естественное происхождение феномена. При этом приходится постулировать наличие в Солнечной системе нового класса космических тел, которые в процессе развития космонавтики и астрономии, вероятно, будут обнаружены. Информация косвенного характера, позволяющая выдвинуть подобный постулат, общеизвестна [25, 26]. Однако фактические данные о составе и структуре таких тел крайне скудны. Поэтому мы «конструируем» модель гипотетического физического тела с вещественно-полевой структурой, используя некоторые новые результаты термодинамики, гелиофизики и геофизики. Отметим, что подобная «конструкция» может быть реализована земной технологией и близкой по типу инопланетной.

Космофизический базис новой гипотезы. Переход от гипотез, рассматривавших Тунгусский феномен в рамках метеоритики, к гипотезе, включающей понятия и логику гелиофизики и геофизики, означает качественно иной методологический подход к проблеме. Как следует из информационного анализа массивов сообщений о необычных атмосферных явлениях, «очевидный» постулат о редком, исключительном событии случайного типа в масштабах геокосмических процессов может оказаться неадекватным. События, трактуемые в рамках временных интервалов человеческой истории как случайные, при учете общепланетарных масштабов пространства и времени могут оказаться закономерными. При этом каждое отдельно взятое событие станет элементом закономерного геолого-исторического процесса.

Гелиофизика трактует Солнечную систему как сложную вещественно-полевую структуру, в которой кроме энергетических взаимодействий и связей, обеспечивающих ее стабильность и эволюцию, важнейшую роль играют информационные взаимодействия. Процесс обмена сигналами — важнейший процесс в гомеостатических природных системах. Он проявляется в информационных потоках центробежного (от Солнца к планетам) и центростремительного (от планет к Солнцу) типов. Поэтому структурные элементы Солнечной системы кроме физических характеристик могут иметь сигнальные характеристики: воздействие, чувствительность, память, отклик, восприимчивость, активность и т. д. Такие характеристики обычны при описании организмов. Применение аппарата теории информации в космофизике и геофизике неизбежно приводит к гипотезе «орга-

* Имеется в виду искусственность объекта в рамках земных техногенных тенденций и целей. Если эта «искусственность» намного превышает наш технический уровень, объект автоматически переводится в ранг «природных».

низменности» тел Солнечной системы *. Модифицированный информационно-кибернетический подход к проблемам солнечно-земных связей содержится в идеях Г. Л. Поспелова о структурных соответствиях Солнца и Земли (магматогенная корона Земли, магматизм Солнца, их взаимодействие по принципу обратной связи) [17].

По масштабу энерговыделения Тунгусское явление соответствует типичным процессам солнечно-земных взаимодействий, отличаясь от них высокой концентрацией инжектированной энергии. Так, средние значения кинетической энергии солнечных ионов, поглощаемых геомагнитосферой за сутки, составляют 10^{18} Дж, тепловой энергии солнечного ветра — 10^{17} Дж, электромагнитной энергии — 10^{16} Дж [9, 11]. Так как поперечное сечение магнитосферы Земли равняется $5 \cdot 10^{16}$ м² [11], эффективная поверхностная плотность солнечной энергии разных видов, поглощаемой в магнитосфере, составляет соответственно от 20 до 0,2 Дж/м². Энергия Тунгусского взрыва оценивается как $(1-2) \cdot 10^{17}$ Дж. Эффективная плотность ее оказывается 10^8 Дж/м², если отнести величину этой энергии к площади участка земной поверхности, над которым происходило инвертирование и диссипация (площадь вывала леса $2 \cdot 10^9$ м²) [21].

Общепланетарная выделенность района Тунгусского феномена. Район Тунгусского падения характеризуется тесной взаимосвязью закономерностей локализации гравитационных и магнитных полей [19, 22]. Сибирская платформа выделяется широким развитием траппового покрова, обладающего значительным магнитным полем. Развитие мощных по толщине и обширных по площади «магнитонесущих» масс траппов позволяет считать этот район точкой высокого энергопотребления и энерговыделения на планете. Район характеризуется магматической активностью такого размаха, что эта активность профилирует как структурообразование, так и вещественный состав региона.

Интенсивный магматизм можно рассматривать как концентрированный энергосток. При магматическом процессе массо- и теплообмена тепловые потоки и электропотоки охватывают макрообъемы (в геологическом смысле). Термодинамическая сущность магматических процессов может быть понята как сброс внутренней энергии Земли. Неравномерное пространственно-временное развитие траппов указывает на пульсационный характер работы энергостокковой зоны Сибирской платформы. Генерация планетарной энергии обладает периодичностью, которая может быть связана с периодичностью общесистемных (имеется в виду Солнечная система) процессов. Тогда можно допустить, что ряд процессов на Земле в строгом соответствии с космическими ритмами может запускаться внешними притоками электромагнитной или механической энергии (например, от Солнца путем магнитогидродинамического перетока энергии «подкачки»).

* Распространенный среди геологов тезис об «организованности» планеты Земля мы переносим на Солнечную систему в целом. Мнение о необходимости изучения Солнечной системы в таком аспекте еще в 1969 г. высказал одному из авторов чл.-кор. АН СССР А. А. Лялунов.

Подобные идеи все чаще оказываются конструктивными в геологии и геофизике. Так, падение сверхметеорита в районе современного северного геомагнитного полюса рассматривается как причина возникновения крупной геомагнитной аномалии и необычной геотектонической активности, явившихся начальным звеном в цепи событий, приведших к образованию древней континентальной коры [16]. Материальные остатки гигантского космического тела, вызвавшего этот процесс, не обнаружены.

Другой пример можно привести из области геохимии. При термодинамическом анализе миграции химических элементов выясняется необходимость регулярной «подкачки» энергии в литосферу и атмосферу. Неизбежные потери вещества и энергии в ходе эволюции земной коры компенсируются за счет внутренних ресурсов планеты (эндогенный контур) и за счет потребления солнечной энергии (экзогенный контур). Поступление энергии в геохимических циклах вызывает цепь эволюционных преобразований, основанных на саморегулировании. Солнечная энергия, будучи малоконцентрированной по сравнению с эндогенной, в геохимических циклах играет роль регулятора информационно-энергетических обратных связей [3].

Эпицентр Тунгусской катастрофы совпал с трубкой кратера палеовулкана нижнетриасового возраста, находящегося почти в центре Катангской области повышенных значений аномалий силы тяжести (КТн) (рис. 2) Катангская область локализована в центре почти равностороннего треугольника, вершины которого составляют области низких значений аномалий силы тяжести: на севере — Тунгусская область (Тн), на юго-востоке — Северо-Байкальская (СБК), на юго-западе — Восточно-Саянская (ВСн). Северо-запад и северо-восток рассматриваемой территории заняты обширными областями повышенных значений аномалий силы тяжести: Приенисейская (Ен) и Оленек-Вилуйская (Ол-Вл). Катангская область обрамлена громадными по протяженности гравиметрическими ступенями. Элементарными структурами гравитационного поля являются крупноплощадные изометричные отрицательные аномалии Буге. Магнитное поле Сибирской платформы имеет общее сходство со строением гравитационного поля. Характерно, что аномалии ΔT_a , подобно аномалиям Буге, отражают лишь крупные особенности эволюции и строения платформы. Аномалии протяженности магнитного поля центральной части Сибирской платформы отличаются от аномалий обрамляющих ее территорий. На общем депрессивном фоне ярко выделяются мелкие, но высокоинтенсивные положительные и отрицательные аномалии ΔT . Почти все полосовые аномалии соответствуют зонам резких градиентов аномалий силы тяжести.

Рассматриваемый район является частью Восточно-Сибирской магнитной аномалии глобального масштаба, которую можно рассматривать как своеобразный «дубль» северного геомагнитного полюса (рис. 3). В центральной области Восточно-Сибирской аномалии напряженность магнитного поля составляет 30% от нормального поля Земли. Центральная область аномалии имеет географические координаты 62° с. ш., 108° в. д. Координаты Тунгусского феномена

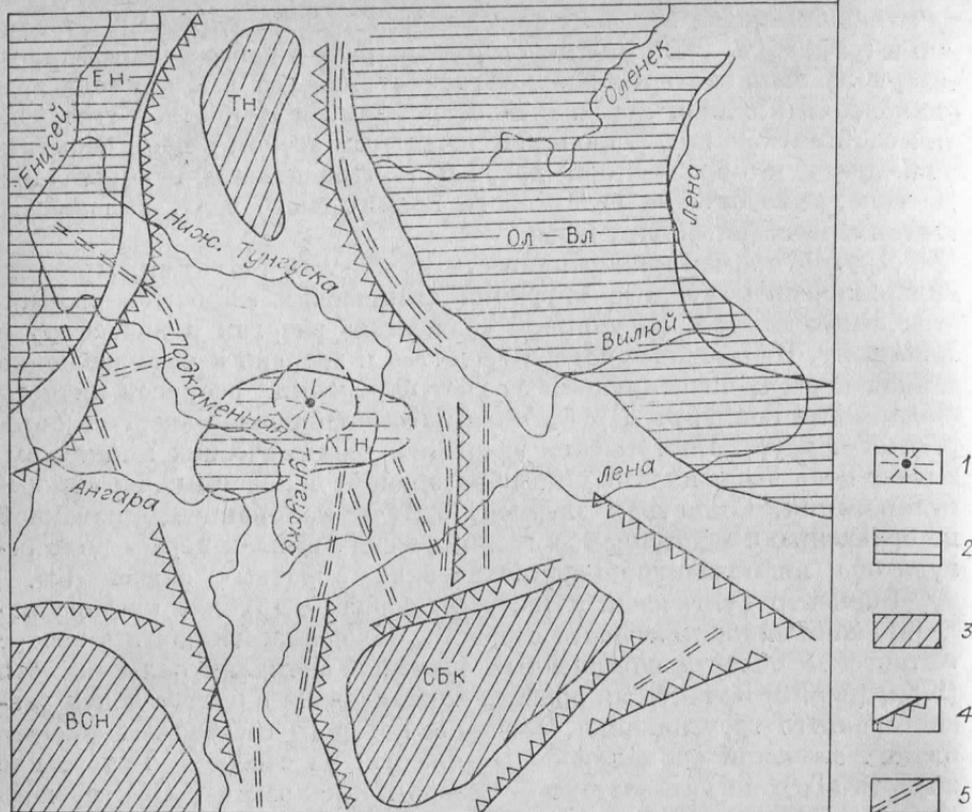


Рис. 2. Региональная геофизическая обстановка района Тунгусского феномена (по К. А. Савинскому и А. А. Туголесову [18]).

1 — эпицентр Тунгусского феномена, 2 — области повышенных значений аномалий силы тяжести, 3 — области низких значений аномалий силы тяжести, 4 — гравиметрические ступени, 5 — полосовые магнитные аномалии.

61° с. ш., 102° в. д. Восточно-Сибирская супераномалия, согласно исследованиям Ю. Д. Калинина [10], имеет источник в глубине Земли на расстоянии 0,4—0,6 земного радиуса. Этот вывод подтвержден данными спутников, которые регистрируют Восточно-Сибирскую аномалию также и на высотах геоцентрических орбит [24], что дает основание для предположений о ее функционировании в качестве дополнительного канала магнитогидродинамической энергии.

Отметим также, что и южный геомагнитный полюс также имеет своего «двойника» — Бразильскую магнитную аномалию. Магнитная напряженность как полюсов, так и супераномалий уменьшается с высотой почти равномерно (по крайней мере до 10^3 км). Обращая внимание на совпадение района Тунгусского падения с Восточно-Сибирской супераномалией, можно увидеть еще одно «случайное» совпадение: ненайденный метеорит 1931 г., который отражен в литературе как «Бразильский двойник Тунгусского метеорита» [13].

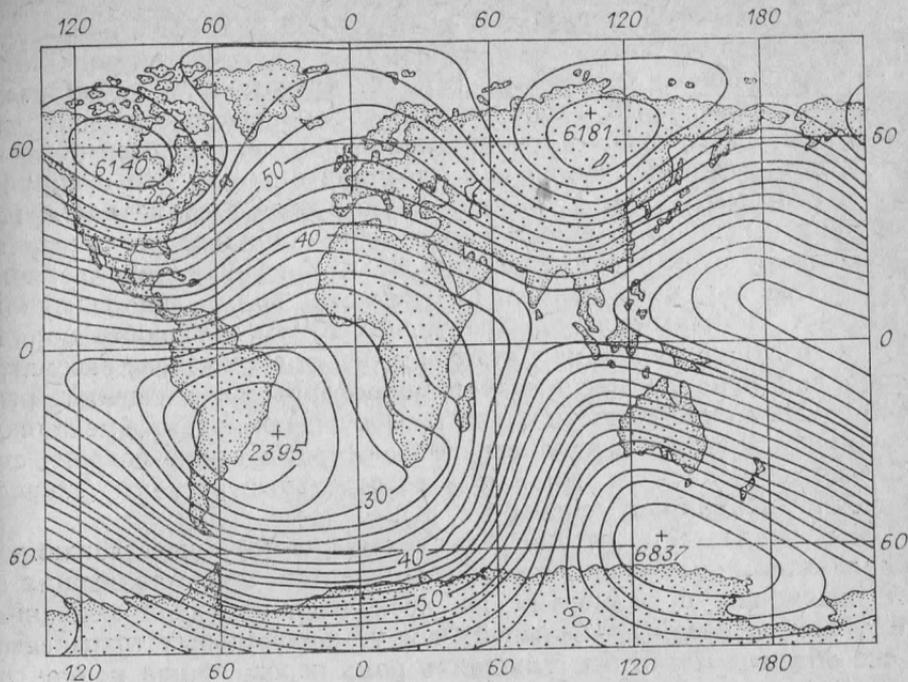


Рис. 3. Карта распределения модуля полного вектора геомагнитного поля. Цифры у изолиний — значение поля в нТ [18].

Район Тунгусского падения находится приблизительно в середине отрезка, соединяющего еще две магнитных аномалии планетарного масштаба, а именно положительной и отрицательной аномалий восточных составляющих вектора геомагнитного поля, первая из которых находится в районе Салехарда, а вторая — в районе Хабаровска (см. рис. 3). Дуга большого круга, соединяющая эти «полюсы», пересекает географический меридиан в районе Тунгусского падения под углом $117^\circ \pm 2^\circ$, что близко к направлению траектории Тунгусского космического тела на ее конечном участке (115° относительно географического меридиана [21]). Направление из эпицентра Тунгусской катастрофы на центральную область глобальной аномалии северной составляющей вектора геомагнитного поля, находящейся в районе Бирмы, имеет азимут 176° , что довольно близко к последнему варианту траектории И. С. Астаповича ($173 \pm 2^\circ$) [1].

Если отмеченные совпадения не являются случайными, то они, возможно, указывают на какую-то «чувствительность» Тунгусского объекта к крупномасштабной структуре геомагнитного поля. В связи с предположением о магнитной «чувствительности» Тунгусского космического тела был проведен анализ геомагнитной обстановки за 1908 г. в сравнении с периодом 75 лет текущего века. В результате сделан вывод о высокой неравномерности изменений индекса *S* для 1908 г.: резкий спад буревой активности майского максимума к июльскому минимуму и возрастание сентябрьского максимума с общим спадом в последнем квартале года.

Гелиофизическая модель. В современной гелиофизике рассматривается феноменологическая модель нового космического объекта — коронального транзиента [9]. Он представляет собой изолированный вспышечный поток плазмы, состоящий из головной ударной волны, движущейся в межпланетной плазме, и вспышечного выброса, который описывается как плазмоид с замкнутым и скрученным магнитным полем. Транзиент формируется в солнечной короне в момент вспышки. Выброс, движение и стабильность транзиента обеспечивают электродинамические силы. Конфигурация плазмоида поддерживается напряжением магнитного поля, «вмороженного» в плазму. Типичный размер транзиента 10^{11} м, плотность порядка 10^{-20} кг/м³. Погружение магнитосферы Земли в транзиент рассматривается как причина магнитных и ионосферных возмущений, регистрируемых на поверхности планеты. Обсуждаются также механизмы возможных эффектов в атмосфере и биосфере, а также механическое действие на планету в целом или ее отдельные регионы (скорость вращения, вулканизм, сейсмы и т. д.).

Мы предлагаем рассмотреть возможность существования в межпланетном пространстве микротранзиентов, представляющих собой плазмоиды с размерами на несколько порядков меньшими, а плотностью плазмы — большей, чем у корональных транзиентов. Такие объекты могли бы выполнять роль переносчиков концентрированных энергетических «зарядов» и быть материальными носителями информации в системах солнечно-планетных связей. Подобные микротранзиенты мы будем называть энергофорами. Можно предположить, что объект, названный Тунгусским метеоритом, относился к этому классу гипотетических космических тел, и представить два способа естественного образования плазменных энергофоров: возникновение непосредственно в солнечной атмосфере в условиях, подобных тем, при которых формируется корональный транзиент, и конденсация плазмы коронального транзиента в виде локальных сгущений, возможная при столкновении с атмосферами планет, комет или облаками космической пыли.

Принципиальная возможность конденсации плазмы в космическом пространстве может быть показана на основе общих идей нелинейной термодинамики. Фундаментальное уравнение Николиса и Пригожина позволяет описать спонтанный морфогенез сложных структур как процесс усиления и самоорганизации флуктуаций в неравновесных системах [15].

Радиальные скорости ионов и электронов в солнечном выбросе составляют сотни километров в секунду. Столкновение потока, состоящего из таких частиц, с более плотной средой может привести к появлению в потоке локальных объемов, в которых преобладают частицы, потерявшие значительную долю первоначальной энергии или импульса. Если мощность потока свободной энергии в таком локальном объеме существенно превышает мощность потока энтропии, появляется возможность образования диссипативных структур — стабилизированных макроскопических флуктуаций. В рассматриваемом случае их следует представлять себе как сгущения плазмен-

ного вещества, стабилизированные «вмороженным» магнитным полем. Николис и Пригожин показали, что процесс рождения и стабилизации макрофлуктуаций в неравновесных системах имеет общие черты с возникновением зародышей новой фазы при фазовых переходах.

Поэтому образование целой популяции «зародышей», которые мы назвали энергофорами, по-видимому, более вероятно, чем возникновение единичной макрофлуктуации. Необходимым условием возникновения популяции сгущений является неравенство $\Delta V \ll \ll V - \Delta V$, которое в нашей задаче легко выполняется: объем V всей системы — объем транзиента, имеющий величину порядка 10^{33} м^3 , объем же энергофора мы можем взять того же порядка, каким, по некоторым оценкам, обладало Тунгусское тело, т. е. $\Delta V \sim \sim 10^8 \text{ м}^3$ [12].

Распределение вероятностей $P_{\Delta V}(t)$, характеризующих подсистему ΔV , может быть выражено через число частиц X_1 , находящихся в ней, и через X_0 — число частиц в остальной системе. Скорость изменения $P_{\Delta V}$ может быть разделена на две компоненты:

$$\frac{dP_{\Delta V}(X_i, t)}{dt} = R_{\Delta V}(X_i) + E_{\Delta V, V-\Delta V}(X_i, X_0),$$

где t — время. Первое слагаемое описывает результат взаимодействия частиц в объеме ΔV , второе — вклад процессов переноса через поверхность, ограничивающую объем ΔV .

Компонента $E_{\Delta V, V-\Delta}$ может быть выражена через сумму, в которую входит произведение эффективной диффузионной частоты δ , характеризующей переход частиц через поверхность возникшей структуры и нелинейного члена X_i , имеющего смысл среднего числа частиц. Частота δ выражается через коэффициент диффузии D , среднюю длину свободного пробега l и длину когерентности флуктуаций L :

$$\delta = \frac{D}{l \cdot L}.$$

Величина L определяет поведение возникшей в объеме ΔV флуктуации: она либо затухает, либо усиливается [15]. Подробный количественный расчет модели Тунгусского космического тела и других энергофоров на основе изложенных общих представлений пока не выполнен. Это отдельная, весьма сложная задача. Попытки расчета «магнитных бутылок», удерживающих плотную плазму, предпринимавшиеся, например, для объяснения явления шаровой молнии, пока не привели к созданию универсальной количественной теории таких структур [20]. Однако хорошо известные факты длительного существования шаровой молнии и подобных ей объектов указывают на принципиальную возможность решения такой задачи.

Движение плазменного энергофора в верхних слоях атмосферы при больших геоцентрических скоростях вряд ли будет отличаться от движения обычного метеора. При малых скоростях на траекторию

энергофора будет влиять магнитное поле планеты. Медленные энергофоры могут захватываться магнитосферой, дрейфовать по градиентам магнитного поля и «наводиться» в районы магнитных аномалий глобального масштаба.

Проникновение энергофора в нижние слои атмосферы будет сопровождаться его ускорением в гравитационном поле. Конечная скорость зависит от аэродинамических свойств объекта, однако простые оценки показывают, что скорость входа может, по-видимому, варьировать в интервале 1—10 км/с. Масса и плотность Тунгусского тела неизвестны, если приписать ему плотность порядка 1 кг/м³, то масса $m = \rho \cdot \Delta V = 10^8$ кг. Эта масса должна состоять из Н⁺ (приблизительно 70%), He⁺⁺ (около 30%), О (0,08%), С (0,03%), а также N, Fe, Si, Ca, Mg.

Метастабильная «магнитная бутылка» с плазмой, имеющей плотность 0,5 кг/м³, ниже 9 км будет представлять пузырек разрежения в атмосфере, на который действует давление $3 \cdot 10^4$ Па. Магнитное натяжение такого же порядка создается магнитным полем $B = 2 \cdot 10^{-4}$ Т. Наиболее прочное место «магнитной бутылки» — передняя, «носовая» часть плазмоида веретенообразной формы. Здесь магнитные силовые линии должны быть закручены таким образом, чтобы обеспечить полное отражение зарядов плазмы. Только при наличии такого магнитного зеркала возможно длительное удержание плазмы в объеме плазмоида. На эту часть плазменного энергофора и начинает действовать аэродинамический напор. Очевидно, что деформация силовых линий должна начаться прежде всего в сегментах, охватывающих «нос» энергофора. Именно эта область становится своего рода детонатором, от которого начинает распространяться в плазме волна давления. Деформация силовых линий вокруг магнитного зеркала равносильна возникновению неустойчивостей в плазмоиде. Аэродинамический напор и атмосферное давление сжимают плазмоид до некоторого критического объема, при достижении которого начинается кавитационное схлопывание пузырька и быстрая рекомбинация водородной плазмы. На каждый атом Н (масса $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг) выделяется $2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж. Следовательно, удельная энергия Q взрыва составляет $1,3 \cdot 10^9$ Дж/кг. Эта величина на три порядка выше удельной энергии химического взрыва и всех видов взрывного выделения энергии, которые привлекались для объяснения Тунгусского взрыва (кроме ядерной и аннигиляционной). Приняв значение тротилового эквивалента Тунгусского взрыва 40 Мт ($E = 1,8 \cdot 10^{17}$ Дж), оценим порядок величины массы космического тела по формуле

$$m = \frac{E}{Q} = \frac{1,8 \cdot 10^{17}}{1,3 \cdot 10^9} = 1,4 \cdot 10^8 \text{ кг.}$$

Заметим, что на 97—98% эта масса должна состоять из Н и He. Содержание С в солнечной атмосфере оценивается как $3 \cdot 10^{-4}$ по отношению к содержанию Н, следовательно, масса углерода, доставленного на Землю, будет:

$$m_C = 1,4 \cdot 10^8 \cdot 7 \cdot 10^{-1} \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 29\,400 \text{ кг.}$$

Si, Fe, Ca, Mg и другие химические элементы должны быть инжектированы в значительно меньших количествах.

Часть не успевших прорекомбинировать протонов и электронов выносятся при взрыве в стратосферу и ионосферу, вызывая геомагнитное возмущение и атмосферно-оптические аномалии. В последние моменты существования плазмоида его поверхность ограничена сильно деформированными магнитными силовыми линиями. Этим объясняется сложная форма изодинам ударной волны, кумулятивные эффекты взрыва, наличие лепестков зоны ожога. Ряд трудных для объяснения данных становится более понятным, если считать, что в район Восточно-Сибирской аномалии двигалось по несовпадающим траекториям два или больше плазменных энергофоров, возможно, с интервалом в несколько часов или дней. С этой точки зрения можно попытаться объяснить наличие нескольких вариантов траектории, необычную длительность феномена, следующую из некоторых сообщений, несовпадение комплексов признаков летящего объекта, сообщаемых из разных географических районов, показания о нескольких взрывах и т. д. Упомянутый выше эффект резкого изменения С-индекса в начале лета 1908 г., вероятно, может быть связан с процессом «перекачки» энергии геомагнитного поля в рабочий процесс Тунгусского феномена.

Инжекция высококонцентрированной солнечной энергии вблизи глобальной магнитной аномалии, по-видимому, имела определенный космофизический смысл, представляя эпизод в эволюции энергоинформационного обмена в системе Солнце — Земля. Сущность этого эпизода пока не ясна, как, впрочем, не ясен смысл и многих других событий в цепи солнечно-земных взаимодействий. К расшифровке событий 30 июня 1908 г., однако, можно, по нашему мнению, приблизиться значительно раньше, чем будет построена исчерпывающая теория солнечно-земных связей. Путь решения Тунгусской проблемы может оказаться близким к направлениям развития исследований ряда назревших проблем геофизики и физики космоса. В качестве примеров таких проблем мы назовем такие, казалось бы, далекие от метеоритики вопросы, как разработка методов эффективного исследования плазмоидов типа шаровой молнии, изучение косвенных и отдаленных влияний техногенных взрывов на гелиогеофизическую обстановку, изучение процессов утечки электроэнергии с мощных ЛЭП в связи с ионосферными возмущениями, анализ информации о редких болидах и т. д.

Информационно-космофизическая трактовка и модель солярного энергофора позволяют увидеть накопленный эмпирический материал о Тунгусском феномене в новом ракурсе. В результате объясняется ряд противоречий, возникающих при обобщении полевых и архивных материалов: несоответствие вещественных следов масштабам явления, сложный характер действия ударной волны, несовместимость нескольких вариантов траекторий, углеродные аномалии, причины мощной ионизации атмосферы.

Данная статья ставит цель постановки и обоснования на каче-

ственном уровне правомерности гипотезы гелиофизической природы Тунгусского события 1908 г. Эта гипотеза требует дальнейшей более детальной разработки и проверки на конкретном материале полевых исследований, а также натурального и машинного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астапович И. С. К вопросу о траектории и орбите Тунгусской кометы.— В кн.: Физика комет и метеоров. Киев: Вища школа, 1965, с. 105—111.
2. Бояркина А. П., Бронштэн В. А., Станюкович А. К. Нестационарные взаимодействия ударных волн в газодинамических задачах метеоритики.— В кн.: Взаимодействие метеоритного вещества с Землей. Новосибирск: Наука, 1980, с. 115—138.
3. Булкин Г. А. Введение в статистическую геохимию. Л.: Недра, 1972. 207 с.
4. Васильев Н. В. Проблема Тунгусского метеорита.— Земля и Вселенная, 1975, № 1, с. 29—35.
5. Васильев Н. В. Состояние проблемы Тунгусского метеорита на начало 1974 г.— В кн.: Проблемы метеоритики. Новосибирск: Наука, 1975, с. 3—12.
6. Васильев Н. В., Журавлев В. К., Демин Д. В. и др. О некоторых аномальных эффектах, связанных с падением Тунгусского метеорита.— В кн.: Космическое вещество на Земле. Новосибирск: Наука, 1976, с. 71—87.
7. Зигель Ф. Ю. К вопросу о природе Тунгусского тела.— В кн.: Метеоритные и метеорные исследования. Новосибирск: Наука, 1983, с. 151—161.
8. Золотов А. В. Проблема Тунгусской катастрофы 1908 г. Минск: Наука и техника, 1969. 204 с.
9. Иванов К. Г. Классификация вспышечных ситуаций на Солнце и изолированное возмущение в околосолнечном, межпланетном и околоземном пространстве.— В кн.: Межпланетная среда и магнитосфера Земли. М.: Наука, 1982, с. 3—25.
10. Калинин Ю. Д. Геомагнитные вековые вариации в СССР и внутреннее строение Земли. Л.: Гидрометеоиздат, 1946. 47 с.
11. Ковалевский И. В. Некоторые вопросы энергетики солнечно-земных связей.— В кн.: Межпланетная среда и магнитосфера Земли. М.: Наука, 1982, с. 25—64.
12. Коробейников В. П., Чушкин П. И., Шуршалов Л. В. Моделирование и расчет взрыва Тунгусского метеорита.— В кн.: Взаимодействие метеоритного вещества с Землей. Новосибирск: Наука, 1980, с. 115—138.
13. Кулик Л. Бразильский двойник Тунгусского метеорита.— Природа и люди, 1931, № 13—14, с. 6—11.
14. Львов Ю. А., Васильев Н. В., Ваулин П. П. и др. Зола в слое торфа 1908 года.— В кн.: Вопросы метеоритики. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1976, с. 94—98.
15. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.
16. Падение метеоритов и образование континентов.— Природа, 1983, № 1, с. 116.
17. Поспелов Г. Л. Об основных структурно-энергетических уровнях возможных состояний реальных макромасс Земли.— Геол. и геофиз., 1970, № 5, с. 14—29.
18. Ротанова Н. М., Пушков А. Н. Глубинная электропроводность Земли. М.: Наука, 1982. 296 с.
19. Савинский К. А., Туголесов А. А. Геофизические характеристики и некоторые особенности глубинного строения Сибирской платформы.— В кн.: Региональные геофизические исследования в Сибири. Новосибирск: Наука, 1967, с. 59—74.
20. Сингер С. Природа шаровой молнии. М.: Мир, 1973. 239 с.
21. Фаст В. Г. Статистический анализ параметров Тунгусского вывала.— В кн.: Проблема Тунгусского метеорита. Вып. 2. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1967, с. 40—104.

22. Фотиади Э. Э., Каратаев Г. И. Строение земной коры Сибири и Дальнего Востока по данным региональных геофизических исследований.— Геол. и геофиз., 1963, № 10, с. 94—114.
23. Цикулин М. А. Приближенная оценка параметров Тунгусского метеорита 1908 года по картине разрушений лесного массива.— Метеоритика, 1961, вып. 20, с. 87—94.
24. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 527 с.
25. Fireballs, volcanism and quakes.— Geotimes, 1982, v. 27, N 7, p. 27—28.
26. Maocabee S. Photometric properties of an bright object seen of the coast of New Zeland.— Applied Optics, 1979, v. 18, N 15, p. 25—27.

С. А. Вишневский

УДАРНЫЕ КОНУСЫ И БРЕКЧИИ «ГРИС» В КАРСКОЙ АСТРОБЛЕМЕ

Специфические деформационные структуры в породах мишени метеоритных кратеров — конусы разрушения представляют один из тех немногочисленных критериев ударного метаморфизма [4], которые однозначно отличают импактиты от конвергентных эндогенных образований. Термин «конус разрушения» или «ударный конус» (англ. «shatter cone») стал широко применяться после работ Р. Дитца, который установил диагностическую роль конусов в опознании импактных структур [16—18]. Литература по ударным конусам довольно обширна, из наиболее полных обзоров по этому вопросу можно отметить работы [24, 29].

Конусы разрушения представляют собой конические отколы в горной породе размерами от десятых долей сантиметра до 10 м. Сравнительно редко отколы образуют полный конус, гораздо чаще они встречаются как частные конические сегменты. Вершины конусов закономерно ориентированы по направлению ударной нагрузки в сторону эпицентра взрыва, что используется для разного рода реконструкций в глубоко эродированных астроблемах [23, 25]. Угол раствора конуса (переменный даже в индивидуальном экземпляре, если поперечное сечение фигуры некруговое), может варьировать в разных кратерах от первых десятков до 120° , но неясно, чем это определяется [24]. Литологические типы пород, в которых проявляются конусы, весьма разнообразны. В конкретных кратерах нередка избирательность, когда конусы развиты в одних породах и отсутствуют в других, но от астроблемы к астроблеме такая предпочтительность различна. Поверхность конусов покрыта характерными бороздками, радиально исходящими из вершины, кроме того, на основном конусе могут быть фрагменты более мелких, так называемых «паразитных» конусов.

Приуроченность конусов к астроблемам, чувствительность к направлению ударной нагрузки, синтез этих деформаций в лабораторных импактных экспериментах [30, 31], а также при ядерных