

УДК 523.4

И.С. Астапович и кометная природа Тунгусского метеорита 1908 года

Э.М. Дробышевский

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН

Предположение И.С. Астаповича о кометной природе Тунгусского феномена (ТФ) 1908 г. объясняет, в конечном итоге, все аспекты явления, включая взрыв мощностью до ~40 Мт ТНТ на высоте 5–10 км и возможность некоего конечного поворота его траектории, если рассматривать ТФ с позиций Новой Эруптивной Космогонии (НЭК) комет. НЭК предполагает выброс ядер SP комет с тел типа Ганимеда или Титана в результате глобального взрыва их массивных ледяных оболочек, насыщенных в виде твердого раствора $2H_2 + O_2$ — продуктами объемного электролиза льда с инородными включениями в нем. Льды комет также насыщены $2H_2 + O_2$, т.е. обладают значительной внутренней энергией. Это объясняет все известные проявления кометной активности, а также данные последних кометных миссий Deep Impact (DI) и Stardust (SD), которые не подтверждают традиционные конденсационно-сублимационные гипотезы о природе комет. Детонация содержащих $2H_2 + O_2$ льдов небольшого кометного ядра привела к быстрому (2–3 км/с) расширению продуктов взрыва и к резкому возрастанию газодинамического торможения, благодаря чему кинетическая энергия ядра перешла на большой высоте в энергию (перегретого) воздуха, что и объясняет все аспекты ТФ. Выражена уверенность, что миссия ROSETTA к P/Чурюмова–Герасименко также выявит факты, подтверждающие НЭК. Льды Каллисто — четвертого галилеевого спутника до сих пор не взрывались. В случае их взрыва Земля подвергнется тяжелой бомбардировке ядрами комет, что приведет к массовому вымиранию биоты, включая человека. Делается вывод о высочайшей приоритетности определения in situ степени насыщения льдов Каллисто продуктами их электролиза.

І.С. АСТАПОВИЧ ТА КОМЕТНА ПРИРОДА ТУНГУСЬКОГО МЕТЕОРИТА 1908 РОКУ, Дробышевський Е.М. — Припущення І.С. Астаповича про кометну природу Тунгуського феномена (ТФ) 1908 р. пояснює, в кінцевому підсумку, всі аспекти явища, включаючи вибух потужністю до ~40 Мт ТНТ на висоті 5–10 км і можливість якогось кінцевого повороту його траєкторії, якщо розглядати ТФ з позицій Нової еруптивної Космогонії (НЕК) комет. НЕК передбачає викид ядер короткоперіодичних (SP) комет з тіл типу Ганімеда або Титану в результаті глобального вибуху їх масивних крижаних оболонок, насичених у вигляді твердого розчину $2H_2 + O_2$ — продуктами об'ємного електролізу льоду з чужорідними включеннями в ньому. Крига комет також насичена $2H_2 + O_2$, тобто комети володіють значною внутрішньою енергією. Це пояснює всі відомі прояви кометної активності, а також дані останніх кометних місій Deep Impact (DI) і Stardust (SD), які не підтверджують традиційні конденсаційно-сублимаційні гіпотези про природу комет. Детонація криги невеликого кометного ядра, що містить $2H_2 + O_2$, призвела до швидкого (2–3 км/с) розширенню продуктів вибуху і до різкого зростання газодинамічного гальмування, завдяки чому кінетична енергія ядра перейшла на великій висоті в енергію (перегрітого) повітря, що і пояснює всі аспекти ТФ. Висловлено впевненість, що місія ROSETTA до P/Чурюмова–Герасименко також виявить факти, що підтверджують НЕК. Льоди Каллісто — четвертого галілеєва супутника досі не вибухали. У разі їх вибуху Земля піддається важкій бомбардуванню ядрами комет, що призведе до масового вимирання біоти, включаючи людину. Робиться висновок про найвищу пріоритетність визначення in situ ступеня насичення льодів Каллісто продуктами їх електролізу.

I.S. ASTAPOVICH AND A COMETARY NATURE OF TUNGUSKA METEORITE OF 1908, by Drobyshevski E.M. — Assumption by I.S. Astapovich on a cometary nature of Tunguska phenomenon (TPh) 1908 explains actually all its aspects including the high-altitude (5–10 km) explosion of up to ~40 Mt TNT equivalent, as well as a possibility of some deflection of the meteoroid trajectory, if one considers the TPh from the standpoint of the New Eruptive Cosmogony (NEC) of comets. The NEC conjectures ejection of SP comet nuclei from bodies of Ganymede or Titan type due to global explosions of their massive icy envelopes. These ices are saturated as a solid solution with $2H_2 + O_2$, which are products of the volumetric electrolysis of the ice containing foreign inclusions. The comet ices are saturated with $2H_2 + O_2$ too, so they contain an internal energy source. That explains all the known manifestations of the comets, as well as results of recent cometary missions Deep Impact and Stardust, which in their turn do not confirm traditional condensation-sublimation concept on the comet nature. Detonation of the $2H_2 + O_2$ -containing ices of a small comet nucleus had led to rapid (2–3 km/s) expansion of the explosion products, i.e. to a sharp increase of the gasdynamic drag, with a resulting transfer of the nucleus kinetic energy into the energy of overheated air at high altitude. That explains all the TPh aspects. The confidence is expressed the ROSETTA mission to P/Churyumov–Gerasimenko will also reveal facts favoring the NEC. Ices of Callisto — the fourth Galilean satellite did not explode yet. If they explode, the Earth will experience a heavy bombardment by the anew-appeared comet nuclei. That will result in mass extinction of biota including the mankind. So a conclusion follows on the highest priority of the in situ determination of $2H_2 + O_2$ concentration in Callisto's ices.

Ключевые слова: Тунгусский феномен; Новая Эруптивная Космогония; Каллисто.

Key words: Tunguska phenomenon; New Eruptive Cosmogony; Callisto.

1. ВВЕДЕНИЕ

30 июня 1908 года в 7^h 16' приблизительно с ЮВ на СЗ начиная с северной оконечности Байкала, небо прочертил болид. Его полет завершился через ~600–700 км взрывом на высоте 5–10 км, приведшим

к вывалу леса на площади около 2300 км^2 со следами лучистого ожога деревьев в районе 61° с.ш. и 102° в.д.

Фактически сразу же начался *первый этап* исследования этого явления, — сначала опрашивали свидетелей, а позднее, с 1921 г., началась организация экспедиций. Экспедиции проводятся и по настоящее время.

Кроме световых и звуковых эффектов, взрыв вызвал сейсмическую волну, возмущения геомагнитного поля, ночное свечение неба над Европой и Северной Атлантикой в последующие трое суток. По данным ряда исследователей, включая И.С.Астаповича [1,3] (см. также [4, 5, 13]), угол наклона траектории к горизонту лежал в пределах $\delta = 0 - 20^\circ$. Астапович дал азимут траектории, отсчитываемый от севера $\sim 192^\circ$, но другие авторы ([11, 13], см. также обсуждение и ссылки в [4]) на основе главным образом показаний очевидцев, считают, что азимут лежал где-то вблизи 120° . Несколько смущает, что ось симметрии «бабочки» вывала леса (и ожогов стволов) имеет азимут $95^\circ - 115^\circ$, что заставляет (иногда, возможно, на подсознательном уровне) придавать больший вес восточным траекториям [11], тем более что поворот тела со стандартных газодинамических позиций представляется невозможным. Более объективные (с нашей точки зрения) исследователи [16, 23] все же отмечают возможность поворота траектории в конце полета перед взрывом несколько на запад (на $\sim 10^\circ$). Астапович оценил энергию взрыва в $2 \cdot 10^{21}$ эрг в 1933 г. и до 10^{23} эрг в 1951 г.

Второй этап изучения ТФ завершился благодаря привлечению данных по ядерным взрывам, которые позволили оценить энергетику в $10 - 40$ Мт ТНТ при размере тела $50 - 100$ м ($4.2 \cdot 10^{22}$ эрг = 1 Мт ТНТ) [4, 5]. Ядерные эксперименты проясняют также причины сейсмических и геомагнитных явлений, а также последующего свечения атмосферы, вызванного всплыванием «пузыря» перегретой до десятков тысяч К смеси воздуха и испаренного вещества самого тела, — аналога «гриба» от ядерного взрыва (согласно Кузнецову [14], температура воздуха на высоте $5 - 10$ км за ударной волной при ее скорости $V_\infty = 20$ км/с составляет ~ 40 тыс. К).

На данном *третьем этапе* изучения и понимания феномена проблема заключается в том, как преобразовать кинетическую энергию тела в энергию атмосферного взрыва на высоте $5 - 10$ км, — т.е. в тепловую энергию воздуха, масса которого во много раз превосходит массу метеороида, чтобы, с другой стороны, не допустить его выпадения на землю с образованием кратера?

Если плотность тела мала и где-то приближается к плотности атмосферы, то торможение его воздухом решает эту проблему автоматически. Именно подобную задачу рассмотрели Г.И.Петров и В.П.Стулов [15], приписывая (кометному) телу плотность $\leq 10^{-2}$ г/см³, однако такое значение гораздо меньше плотности свежевыпавшего снега и противоречит даже самым низким оценкам плотности кометных ядер ($\rho \sim 0.3$ г/см³) по негравитационным эффектам, не учитывающим, кстати, струйный характер истечений из ядер. Миссии DI и SD дают уже заметно большие значения, приближающиеся к $\rho \sim 1$ г/см³ [37].

Более физичным представляется рассмотрение разрушения тела под действием скоростного напора $\rho_a V_\infty^2 / 2 \sim 3 \cdot 10^{-4} \times 400 \cdot 10^{10} / 2 \sim 6 \cdot 10^8$ дин/см² ~ 60 МПа (здесь $\rho_a \approx 3 \cdot 10^{-4}$ г/см³ — плотность воздуха на высоте 10 км; $V_\infty = 20$ км/с — скорость тела). Такое значение сопоставимо с прочностью монолитного льда или скальных пород. Считается, что обтекание раздробленного тела воздухом ведет к поперечному «взрыву в полете» [7, 12, 16, 18, 19, 21, 25, 47], т.е. расширению роя его осколков со скоростью V_i в сотни м/с ($V_i \approx V_\infty (\rho_a / \rho)^{1/2} \approx 350$ м/с). Но чтобы при этом 100 м тело с $\rho = 1$ г/см³ на высоте 10 км сгрело массу воздуха, равную хотя бы его массе $\sim 10^{12}$ г, оно должно пройти путь с попутным испарением осколков, перегретых до температуры торможения воздухом, проникающему между ними, $L \sim (3M\rho/\pi\rho_a^2)^{1/3} \sim 20$ км, а чтобы эффективно затормозиться, и в несколько раз больший.

Поэтому разработчики (см. ссылки в предыдущем абзаце) данного направления вынуждены (1) занижать массу (и соответственно, кинетическую энергию) метеороида и, (2) чтобы увеличить ρ_a , рассматривать не пологие (с $\delta \approx 0 - 20^\circ$), а крутые ($\delta \approx 45^\circ$) траектории падения [22], что, по-видимому, противоречит фактам. (Кроме того, не учитывается возможный эффект сильного (до $\sim 10^2$ раз) упрочнения тела в условиях всестороннего сжатия, что использовалось нами при электродинамическом ускорении 1 г тел до ~ 7 км/с [33].)

В результате подобных трехмерных газодинамических расчетов с учетом лучистого теплообмена удается воспроизвести качественно все основные характеристики падения. Что касается количественного совпадения, — то определенные проблемы (помимо $\delta \approx 45^\circ$) здесь все же остаются. Так, площадь вывала леса оказывается, как минимум, на порядок меньше наблюдаемой [18].

Итак, следует констатировать, что некие факторы пока не попадают в поле зрения исследователей, что не дает возможности считать проблему ТФ решенной.

Ниже мы покажем, что заключительным аккордом третьего (и последнего) этапа исследований ТФ может стать включение в рассмотрение возможности детонации монолитных льдов кометного ядра, содержащих растворенные в нём водород и кислород. И хотя энергия взрыва едва ли достигает 10%

кинетической энергии ядра, его продукты расширяются со скоростью $V_i \sim 1-2$ км/с, что позволяет им быстро сгрести необходимую для их торможения массу воздуха на высоте 5–10 км.

Т.о. представления многих исследователей, начиная с И.С.Астаповича, о кометной природе ТФ, оказываются, в конечном счёте, оправданными.

2. И.С.АСТАПОВИЧ И КОМЕТНАЯ ПРИРОДА ТФ

ТФ был сразу же приписан падению метеорита. Л.А.Кулик в экспедициях 1927, 1928, 1929–1930 гг. пытался найти ударный кратер (Аризонский кратер к тому времени был хорошо известен и изучен) и его отсутствие несколько обескураживало исследователей, но придавало дополнительный «шарм» изысканиям. На сегодня известно до сотни гипотез, большая часть которых не соответствует известным фактам и едва ли может считаться научными.

Гипотезы о падении небольшого кометного ядра или астероида, подвергшихся дроблению скоростным напором, обсуждаются наиболее широко (см. ссылки на «взрыв в полете» в предыд. разделе 1). Отсутствие скальных осколков делает астероидную гипотезу менее вероятной, тогда как бытовавшее некоторое время назад (см. ссылки в [40]) представление о рыхлой структуре кометных ядер, да и сам ледяной состав их, делают кометную гипотезу более притягательной. С другой стороны, как мы увидим ниже (разд. 6), похоже, все аспекты ТФ могут быть поняты, если считать, что ядра SP комет являются монолитными осколками внешних слоёв массивных ледяных оболочек тел типа Титана или Ганимеда, насыщенных в виде твёрдого раствора $2\text{H}_2+\text{O}_2$ продуктами электролиза льда [29].

Гипотеза о кометной природе ТФ была высказана только в конце 20-х годов. Причём одним из первых был И.С.Астапович. Он исходил из того, что ночное свечение неба над Европой и Атлантикой могло быть вызвано выпадением пыли из кометного хвоста. Однако публикаций, где бы Астапович говорил о своем приоритете, нет. Подробности об этом даны в книге его ученика В.А.Бронштэна [4]. В книге замечено, что согласно газете «Вечерняя Москва» от 11.02.1928 некто А.М.Рыбаков на собрании «Московского общества любителей астрономии» говорил о кометной природе ТФ. О кометной природе сказано в книге Х.Шепли [20] и в статье Fransis Whipple [49]. Кринов [13] приписывает приоритет Астаповичу. Сам Астапович, согласно Бронштэну, о своем приоритете сказал устно только в 1960 г. на 9-й Метеоритной конференции в Киеве. Но в публикациях 1935 г. и последующих он говорит о приверженности гипотезе Фрэнсиса Уиппла. В чем же дело? В статье Астаповича [1] в списке литературы под номером 47 имеется ссылка на его доклад в «Русском обществе любителей мироведения (РОЛМ)» 20.06.1929. О чем говорилось в докладе, на основании текста статьи сказать нельзя, хотя многие авторы отмечают чрезвычайную аккуратность Астаповича при цитировании литературы. РОЛМ было ликвидировано властями в 1930 г. и некоторые его члены подверглись репрессиям по обвинению в контрреволюционной деятельности. В таких условиях даже упоминать о своем активном участии в деятельности РОЛМ могло быть опасно... Но в 1951 г. Астапович отмечает, что предпринята им «в 1929 г. обработка материала по независимым от него обстоятельствам осталась незаконченной». Здесь же, безо всяких ссылок он говорит, что все «позволяет нам считать Тунгусский метеорит ядром небольшой кометы».

3. ЭВОЛЮЦИЯ ИДЕЙ О ПРИРОДЕ КОМЕТ

До 50-х годов XX века бытовало мнение, что ядра комет — это конгломераты камней, покрытых замерзшими газами типа аммиака, ацетилена и т.п. В эту концепцию неплохо вписывались и представления о С.К.Всехсвятского [6] о вероятности их вулканического выброса с планет гигантов и/или их спутников. Даже Oort [44], говоря об образовании кометного облака на далекой периферии Солнечной системы, поначалу рассматривал их общее с астероидами происхождение в зоне между Марсом и Юпитером, так что можно вспомнить гипотезу Ольберса о распаде здесь планеты (С.В.Орлов в 1949 г. назвал ее Фаэтоном).

В 1950 г. Fred Whipple предложил модель ядра, главным образом, из водяного льда, где камни и песок могут быть лишь малой ее компонентой. Сублимация льдов с последующим фотолизом «родительских» молекул, содержащихся в их парах, считалась причиной наблюдаемой кометной активности. Космогонисты ударились в другую крайность, — стало хорошим тоном полагать кометные ядра остатком строительного мусора от эпохи образования планет и продуктом конденсации из вещества солнечного состава на холодной периферии Солнечной системы. Предполагалось, что под действием звездных и планетных возмущений ядра комет диффундируют отсюда во внутреннюю Солнечную систему и некая часть их переводится планетами-гигантами на SP орбиты. Но помимо того, что подобный процесс крайне неэффективен ($\sim 1/2$ «параболических» комет, входящих сюда, сразу же выбрасывается из Солнечной системы), и при расчетах подобных диффузионных процессов приходится варьировать многими свободными параметрами, описанный сценарий не объясняет множество известных фактов. Перечислим лишь некоторые из них, отметив прежде, что небесные механики и «физики» предпочитают работать на пересекающихся курсах, рассматривая лишь частные задачи в отрыве от других проблем, что очевидным образом плодит гипотезы *ad hoc*.

Каждая комета имеет свое индивидуальное «лицо» (степень активности, различный химсостав, пылеобразование и т.п.), что трудно ожидать от «снежного» конденсата из газа одного и того же исходного состава. Как правило, LP кометы развивают максимум активности до перигелия, а SP — после. Как показали лабораторные исследования, фотолитическое расщепление на ионы и радикалы любых «подходящих» «родительских» молекул происходит на расстояниях, как минимум, вдвое больших от ядра, чем дают наблюдения. Неясна природа вспышек и распадов ядер комет (а распадается до ~5% комет уже в первом появлении [46]), причем километровые фрагменты отходят друг от друга со скоростью до 1–10 м/с, т.е. с кинетической энергией, измеряемой тераджоулями! Они коррелируют с солнечной активностью и/или с пересечением границ секторов солнечного ветра с разным направлением магнитного поля в них.

Космическая эпоха добавила множество фактов, которые приверженцы конденсационно-диффузионных подходов неизменно трактуют как «неожиданные» и «загадочные» (мы не даем здесь ссылок на многочисленные отдельные публикации по разным миссиям к кометам; о некоторых деталях см. [37]).

Во-первых, ядра комет не являются слабо связанным квазисферическим конгломератом отдельных ~100–200 м блоков («grains»), как предсказывалось с конденсационных позиций. Скорее, это (часто удлиненные) осколки более крупных тел, демонстрирующие крупномасштабную слоистую структуру (не обязательно концентрическую) с заметной прочностью вещества.

Во-вторых, газо-пылевые истечения идут в виде десятка и более струй со скоростью не ~200 м/с, как дают сублимационные модели, а ~500–800 м/с, причем их источники занимают <10% поверхности. Некоторые струи продолжают свою активность и на теневой поверхности (P/Галлея, P/Темпель 1, P/Вилд 2). Чтобы обеспечить необходимую производительность струйной сублимации, нужно как-то собрать в источники струй энергию солнечной радиации, как минимум, с 40% освещаемой поверхности ядра, — налицо некий конфликт с законом сохранения энергии.

В-третьих, вопреки ожиданиям фотохимиков, концентрация радикалов и ионов растет по мере приближения к ядру, причем обнаруживаются такие неожиданные компоненты, как например, атомарный углерод и C^+ . Что из ядра истекает уже ионизованный достаточно сильно электропроводящий газ, видно хотя бы из того, что магнитное поле (бесстолкновительного) солнечного ветра не проникает в (бесстолкновительную же), но не замагниченную исходно голову кометы.

Наряду с названными, много новых проблем добавили недавние активные миссии DI и SD к P/Темпель 1 и P/Вилд 2, соответственно. Так, простые и довольно умеренные оценки, выполненные с привлечением разных кластеров данных, неизменно дают, что энергия выброса из ударного кратера заметно (возможно, в несколько раз) превосходит энергию DI от удара, а оценки плотности ядра Темпель 1 приближаются к $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ (см. обсуждение в [40]). Минералогический состав пыли, исследованный спектроскопически для Темпель 1 и лабораторно для Вилд 2, указывает на наличие высокотемпературного (~1000 К и даже до ~1500 К) метаморфизма минералов, что немыслимо в рамках стандартных конденсационных гипотез, но спокойно объясняется с позиций планетарного происхождения комет (и далее, с позиций космогонии, рассматривающей систему Юпитер–Солнце, как предельный случай тесной двойной звезды, см. детали и ссылки в [37]).

4. СОВМЕСТНОЕ ПЛАНЕТО-КОМЕТНОЕ ОБЛАКО ЗА НЕПТУНОМ И ПРИРОДА LP КОМЕТ

Поскольку ниже мы сосредоточимся на природе SP комет, заметим здесь, что большая часть LP комет является продуктом крайне редких столкновений карликовых планет в совместном квази-тороидальном плането-кометном облаке, простирающемся от ~50 до ~300 а.е. Это не далекое облако Оорта (20–100 тыс. а.е.) и не пояс Койпера (~35–50 а.е.), который ничего не говорил о наличии здесь планет. Существование плането-кометного облака, где десятки плутоно-подобных планет движутся по неупорядоченным орбитам, было предсказано нами тридцать лет назад [28] и подтверждается в последнее время открытием таких (опять же «загадочных») объектов, как Седна, Ксена и др. (см. также [37]). Наше предсказание было сделано на основе принципиально новой, недисковой, космогонии Солнечной системы, которая основывается на богатой статистике тесных двойных звезд и исходит из газодинамического сценария возникновения последних. Следствием из этого сценария является то обстоятельство, что в пределе, при определенных начальных условиях возникает тесная двойная звезда с отношением масс 1/1000, — т.е. система типа Юпитер–Солнце [27]. Остальные планеты (кроме, возможно, Сатурна) вместе с их спутниками, а также до 10^4 – 10^5 карликовых плутоноподобных планет образуются в исходно гораздо более массивном (и обширном) прото-Юпитере. Вещество с него быстро перетекало на прото-Солнце, так что возникающие в нем планеты двигались по раскручивавшимся спиральям и поэтому покидали прото-Юпитер. Гравитационное взаимодействие друг с другом вело к диффузии ансамбля планет как внутрь, так и наружу, что и вывело Уран и Нептун на их современные орбиты и создало планетное облако за Нептуном. Ядра LP комет не только порождаются столкновениями ледяных карликовых планет в этом облаке, но и выводятся их гравитационными возмущениями за пределы такого совместного плането-кометного облака, в том числе и во внутреннюю систему. Ядра LP комет

будучи столкновительными осколками далеких планетных тел, не имеют заметных внутренних источников энергии и поэтому к ним вполне приложима классическая сублимационно-фотолитическая (но не конденсационная) схема кометной активности. Отсюда понятно, почему новые LP кометы развивают наибольшую активность до перигелия.

5. НОВАЯ ЭРУПТИВНАЯ КОСМОГОНИЯ (НЭК) SP КОМЕТ

Ядра SP комет тоже имеют планетное происхождение (напомним, что планетные возмущения могут перевести некую долю LP комет на SP орбиты и наоборот, но, тем не менее, мы надеемся, из текста ясно, о чём идёт речь в каждом конкретном случае). Они выбрасываются в результате глобальных взрывов массивных (толщиной ~ 800 км) оболочек загрязнённого водяного льда на телах типа Ганимеда и Титана. В системе Галилеевых спутников за 4.5 млрд. лет произошло 5–6 взрывов, что объясняет их свойства и различия (Каллисто пока не взрывалась), льды Титана взорвались всего $\sim 10^4$ лет назад [31, 35], а взрыв плутоподобного Фэтона со спутником породил главный пояс астероидов и, возможно, вызвал 3.9 аеонов назад тяжёлую Имбрийскую бомбардировку Луны [29]. Двумерные газодинамические расчёты взрыва Фэтона выполненные высококвалифицированным коллективом из Федерального ядерного центра (Челябинск–70) показывают, что взрыв не разрушил его скальное ядро [38]. Но резкое уменьшение массы Фэтона в результате взрыва привело к потере им спутника. Впоследствии спутник столкнулся с оставшимся скальным ядром Фэтона, что вызвало разрушение обоих [34].

Такой сценарий вполне согласуется с выводом о двух разделённых значительным временным интервалом взрывах, породивших астероиды главного пояса, сделанным геологом высокого класса И.А.Резановым [17] на основе изучения особенностей метаморфизма метеоритных пород. Он, правда, не дал реального физического механизма этих взрывов (и, к сожалению, не был знаком с нашей статьёй 1997 г.).

Причиной взрывов ледяных оболочек является накопление в них в виде твёрдого раствора во льду $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ -продуктов объёмного электролиза льда, содержащего наряду со льдами примитивной органики, такие инородные включения (силикаты, окислы и сульфиды металлов, углистые включения и т.п.) с проводимостью электронного или дырочного типов. Сам водяной лёд, как доказано лабораторными опытами по его электролизу [26, 39, 45], — протонный проводник. Поэтому, когда электрический ток протекает изо льда через включение, на одной стороне последнего выделяется молекулярный водород, а на другой — кислород. Твердотельная термическая конвекция, — это геологический процесс, выносящий наружу как джоулево тепло, так и энергию радиоактивного распада U, Th, ^{40}K в скальных породах (и ядре), перераспределяет $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ по объёму льда оболочки. Заметим, что лёд основной массы оболочки подвержен давлениям в $10^3 - 10^4$ атм, так что $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ пребывает в виде твёрдого раствора в монокристаллическом льде. Не так давно Мао W.L. и Мао Н. [42] показали устойчивость клатрата $\text{H}_2(\text{H}_2\text{O})_2$ при $T < 140$ К и $p > 1$ атм. Как любой геологический процесс, конвекция не создаёт абсолютно однородного распределения $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ по объёму льда. Неизбежно будут присутствовать жилы и гнезда с несколько повышенным содержанием $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ во льду. По достижении 15–20% весовой концентрации $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ во льду (в зависимости от начальной температуры) такой раствор становится способным к устойчивой детонации, которая может быть возбуждена достаточно интенсивным метеороидным ударом.

Необходимый для электролиза льда электрический ток в оболочке возбуждается при обтекании тела замагниченной плазмой. В случае Фэтона — это древний солнечный ветер, а в случае спутников Юпитера и Сатурна — это магнитосферы планет. Так, Вояджер 1 измерил ток силой ~ 5 МА, протекающий через одно крыло магнитной силовой трубки, заключающей Ио [43]. Ток генерируется движением спутника поперек силовых линий магнитного поля Юпитера, течёт в замагниченной плазме вдоль силовых линий магнитного поля и замыкается в верхних слоях атмосферы Юпитера, возбуждая там давно известное декаметровое радиоизлучение, коррелирующее с положением Ио. Ряд данных говорит о том, что в прошлом магнитном поле Юпитера (и Сатурна) могли быть в $\sim 10^2$ раз сильнее [30].

Электрохимические процессы в присутствии сильных магнитных полей в ледяных (а после взрывов и жидких) мантиях луноподобных спутников создают на них гораздо более разнообразные и благоприятные условия для создания оптически активных биологических молекул и возникновения жизни, чем на Земле [36].

Сброшенные при взрыве оболочки осколки ее более холодных внешних слоев являются типичными ядрами SP комет. Их грязные льды с плотностью $\rho \sim 1$ г/см³ тоже насыщены $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ до концентрации, близкой к критической и при относительно небольшом дополнительном подводе энергии способны к горению и/или детонации. Некая исходная неоднородность распределения $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ по объёму в виде отдельных гнезд и жил с повышенной концентрацией делает понятным струйный характер истечений, а также коррелирующую с солнечной активностью вспыхивающую активность и распад ядер.

Действительно, газовые продукты сублимации кометных льдов состоят не только из паров воды, примитивной органики и других летучих соединений, но содержат и свободный водород и кислород (о спектроскопических свидетельствах наличия O_2 в головах комет говорил еще Добровольский [8]).

Эта смесь поджигается фотолитически, и горение с температурой ~ 900 К распространяется по столкновительной струе внутрь ядра вплоть до гнезда (жилы) с повышенной концентрацией $2\text{H}_2+\text{O}_2$, где также возбуждает (поверхностное) горение. Такое гнездо, где выделяется энергия горения, и является источником струи, которая подчас не исчезает, оказываясь на теневой стороне ядра.

Из сказанного очевидна природа вспышечной активности и распадов комет. Причины их корреляции с солнечной активностью следует искать в проникновении электрических токов, текущих в замагниченной плазме солнечного ветра (вдоль ионизованных струй) внутрь ядра в гнезда с повышенной концентрацией $2\text{H}_2+\text{O}_2$ и возбуждение внутри ограниченного объема гнезда горения, иногда переходящего в детонацию. Вынужденной детонацией, возбужденной ударом, объясняется химизм и избыточная энергетика выбросов из ударного кратера DI [40].

С вышеизложенных позиций, в отличие от традиционных конденсационно-сублимационных представлений, не представляет особого труда объяснение всех «непонятных» и «загадочных» проявлений кометной активности, перечисленных (да и неназванных также) в разделе 3. Мы не будем здесь входить в детали. Как говорится, «*sapienti sat*»...

6. ТУНГУССКИЙ ФЕНОМЕН И НОВАЯ ЭРУПТИВНАЯ КОСМОГОНИЯ КОМЕТ

В изучении ТФ выявляется три взаимоперекрывающихся этапа:

(1) Сбор фактических данных, который начался с опроса очевидцев, в чем принимал участие и И.С.Астапович, продолжился организацией экспедиций Л.А.Кулика и длится до сих пор самостоятельными и иностранными экспедициями в район взрыва ТФ.

(2) Непрерывные попытки качественного осмысления ТФ с выдвиганием гипотез, соответствующих имеющимся на данный момент представлениям о малых телах, их атмосферным, сейсмическим, магнитосферным проявлениям и т.п. Поучительно, что большую роль в продвижении этого направления сыграли эксперименты с ядерными взрывами, — осуществленными более полувека спустя после ТФ. Именно их данные позволили оценить энергетика стратосферного взрыва и его световые, ожоговые, сейсмические и т.п. последствия. Здесь мы видим, как прорыв в соседней области науки способствует выработке однозначных суждений о механизмах долгое время непонятого явления.

(3) Два последних десятилетия отмечены непрерывными попытками создания количественной теории ТФ с использованием аппарата современной вычислительной гиперскоростной газодинамики. Они основаны на понимании того обстоятельства, что гигантская кинетическая энергия Тунгусского метеороида могла проявиться на большой высоте взрывным образом только в результате эффективной передачи её атмосферному воздуху, что возможно лишь при крайне быстром увеличении поперечного сечения метеороида, т.е. при расширении его вещества. Отсюда следуют предположения как об исходно низкой плотности тела (что оправдано при некоторых предположениях о свойствах кометных ядер, следующих из конденсационных гипотез), так и о возможности его разрушения и дробления высоким скоростным напором (рассматривались как каменные — астероидные, так и ледяные — кометные тела) с последующим увлечением осколков в поперечном направлении потоками обтекающего тело воздуха — т.н. «взрыв в полете» (см. ссылки в разделе 1)...

Эти попытки (см. выше раздел 1), однако, едва ли вызывают чувство удовлетворения (мы не рассматриваем астероидные метеороиды ввиду полного отсутствия скальных осколков). Помимо наличия некоторых априорных предположений и выбора наиболее благоприятных значений свободных параметров, они вынуждены использовать слишком большие наклоны траекторий, а площадь «взрывного поражения» (вывал леса) даже при таких траекториях оказывается, как минимум, на порядок меньше наблюдаемого. Причем, вопреки некоторым данным [16, 23], не допускается возможность поворота траектории метеороида непосредственно перед взрывом.

Логично предположить, что, как и на втором этапе до технической реализации в середине прошлого века мощных атмосферных взрывов, исследователи до сих пор ограничены некой неполнотой в используемых ими моделях метеороидов — кометных ядер.

И действительно, как отмечает G.J.Flynn [41] — видный эксперт по космической пыли и одна из ведущих фигур проекта SD, «*результаты миссий Stardust и Deep Impact показывают, что простая модель образования комет, т.е. что кометы являются смесью льдов и необработанной межзвездной пыли и/или низкотемпературным конденсатом из холодных областей (протопланетного) облака, не работает*». Как ни удивительно, но другой альтернативы не подтверждаемым экспериментами традиционным представлениям, кроме нашей НЭК, пока не видно.

Учитывая, что НЭК с единой позиции объясняет, скажем осторожно (во всяком случае, в первом приближении), все известные «загадочные» кометные проявления, можно надеяться, что ближайшая кометная миссия ROSETTA с посадкой зонда на ядро кометы Р/Чурюмова-Герасименко в 2014 г. также даст результаты в пользу планетного происхождения комет (вспомним еще раз идеи С.К.Всехсвятского [6]). Вернемся в заключение к ТФ, добавив в его картину, как нам кажется, последний, до сих пор недостающий, штрих, — а именно, кометную модель со значительным внутренним источником энергии.

Касательный влет в атмосферу Земли небольшого (~ 100 м) кометного ядра — куска льда, насыщенного продуктами электролиза $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ еще в период его пребывания в оболочке родительского луноподобного тела вроде Ганимеда, привел к его сильному сжатию газодинамическим напором. Некоторую роль мог сыграть дополнительный подвод энергии внутрь тела не за счет теплопроводности, а за счет выделения акустической энергии вибраций, возбуждаемых в теле неправильной формы гиперзвуковым аэродинамическим обтеканием. Не исключено начало «взрыва в полете», т.е. начало разрушения тела гиперскоростным напором. В результате твердая система лед+ $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ + органика, содержащаяся во льду исходно, начала детонировать. Возможно, детонации подверглась лишь часть тела. Тогда эта часть должна была «оттолкнуться» от невзорвавшейся части и тем самым несколько изменить направление своей видимой траектории к югу (возможно, следует предпринять поиск кратера от невзорвавшегося фрагмента несколько севернее от продолжения исходной траектории метеороида).

Газообразные продукты сдетонировавшего вещества расширяются на высоте 5–10 км со скоростью $\sim 2-3$ км/с, что на порядок превышает скорость расширения от «взрыва в полете» (газодинамическое сечение возрастает на два порядка быстрее). В результате кинетическая энергия тела с $M \sim 10^{12}$ г и $V_\infty \sim 20$ км/с, $E_k = 2 \cdot 10^{24}$ эрг = 45 Мт ТНТ (что намного превышает энергию детонации льдов $E_d \approx 2.5 \cdot 10^{22}$ эрг), переходит в энергию перегретого воздуха на пути менее $L = (3MV_\infty^2 / \pi \rho_a V_t^2)^{1/3} < 10$ км, т.е. за время < 0.5 сек (выкладки здесь сделаны в том же приближении, что и в разделе 1 для «взрыва в полете»; только здесь V_∞ и V_t являются независимыми величинами; $V_t \sim 2.5$ км/с). Возникает явление взрыва в разреженной атмосфере на высоте 5–10 км. Как видим, здесь нет необходимости в предположении о крутой траектории, а значит и ограничения на E_k , а как следствие взрыва на большой высоте с большей энергетикой, площадь вывала леса вполне будет соответствовать наблюдаемой в достаточно широком диапазоне начальных параметров.

Таким образом, этот последний штрих — парадигма о планетной природе комет, поддерживаемая на сегодня всеми известными данными, включая данные DI и SD миссий, позволяет без дополнительных предположений дать непротиворечивое объяснение всех проявлений ТФ, — т.о. гипотеза И.С. Астаповича о его кометной природе, пройдя довольно длительную эволюцию, оказывается в конечном счете справедливой.

Наконец, последний аккорд. Выше мы отметили, что, по всей видимости, взрывались все Галилеевы спутники, кроме Каллисто. Это хорошо объясняет их различия и известные особенности топографии [30], а также происхождение и свойства иррегулярных (прямых и ретроградных) спутников Юпитера и Троянских астероидов (включая их альбедо и различия в числе Греков и Троянцев) [24].

Что будет, если взорвется оболочка Каллисто? Сначала на месте Юпитера возникнет светило в десятки раз более яркое, чем полная Луна, поскольку продукты взрыва за сутки заполнят его сферу действия. Часть осколков (кометные ядра) будут сразу же выброшены взрывом из сферы действия на SP орбиты, часть будет выброшена позже из-за накопления возмущений, оказываемых на них Галилеевыми спутниками. Настанет новая кометная эпоха, с числом кометных ядер размером ≥ 250 м на SP орбитах семейства Юпитера, достигающим $\sim 10^9$ [9, 10, 32]. Через несколько десятилетий, по мере эволюции их ансамбля, Земля подвергнется массивированной бомбардировке телами размером до десятка км. Почти ежедневно на Землю будет выпадать тело размером ~ 100 м, создающее явление типа ТФ (здесь, правда, нужно помнить, что пологая траектория является, скорее, исключением, а не правилом). Но, что хуже всего, раз в жизни человека на Землю будет выпадать тело размером ≥ 1 км с выделением ударной энергии $\geq 10^5$ Мт ТНТ. Из подобного ударного кратера в атмосферу Земли поступит столько пыли, что начнется т.н. «ядерная зима» с последующей гибелью на Земле всей высокоорганизованной биоты, включая человека. наших ресурсов не хватит, чтобы защититься от такой бомбардировки.

Однако, возможно, не все так плохо. Действительно, мы не знаем, какова вероятность взрыва Каллисто, до какой степени ее льды заряжены продуктами электролиза. Чтобы выяснить это, необходимо организовать туда космическую экспедицию, придав ей наивысший приоритет. В случае угрожающей ситуации придется организовать там патрульные станции, предотвращающие падение на Каллисто опасных метеороидов. Со временем, возможно, удастся найти способы удаления из оболочки Каллисто кислорода и водорода.

Автор благодарит чл. корр. НАНУ К.И. Чурюмова за приглашение на КАММАК–2008, проф. А.В. Багрова за интерес к НЭК и совет принять более активное участие в разработке проблемы ТФ и проф. Г.А. Тирского за подробное обсуждение различных аспектов «взрыва в полете» и смежных проблем.

1. Астапович И.С. Новые материалы по полету большого метеорита 30 июня 1908 г. в Центральной Сибири // Астрон. Ж. — 1933. — **10**, № 4. — С. 465–486.
2. Астапович И.С. Новые исследования падения большого Сибирского метеорита 30 июня 1908 г. // Природа. — 1935. — № 9. — С. 70–72.

3. *Астапович И.С.* Большой Тунгусский метеорит // Природа. — 1951. — № 2. — С. 23–32; № 3. — С. 13–23.
4. *Бронштэн В.А.* Тунгусский метеорит: история исследования. — М.: Сельянов А.Д., 2000. — 312 с.
5. *Васильев Н.В.* Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908 г. — М.: НП ИД “Русская панорама”, 2004. — 372 с.
6. *Всехсвятский С.К.* Природа и происхождение комет и метеоритного вещества. — М.: Просвещение, 1967. — 184 с.
7. *Григорян С.С.* О движении и разрушении метеоритов в атмосферах планет // Космич. исслед. — 1979. — **17**, № 6. — Р. 875–893.
8. *Добровольский О.В.* Кометы. — М.: Наука, 1966.
9. *Дробышевский Э.М.* Взорвется ли Каллисто? // Наука и человечество. 1992–1994: Доступно и точно о главном в мировой науке. Междунар. ежегодник / Редколл. Ю.С. Осипов и др. М.: Знание, 1994. — С. 240–257.
10. *Дробышевский Э.М.* Опасность взрыва Каллисто и приоритетность космических миссий // Журнал Техн. Физики. — 1999. — **69**, № 9. — С. 10–14.
11. *Зоткин И.Т.* Траектория и орбита Тунгусского метеорита // Метеоритика. — 1966. — **27**. — Р. 109–118.
12. *Кондауров В.И., Конюхов А.В., Полухин В.В., Утюжников С.В.* Математическое моделирование движения газового облака после взрыва метеороида в атмосфере // Изв. АН Мех. жидк. и газа. — 1998. — № 1. — С. 29–37.
13. *Кринов Е.Л.* Тунгусский метеорит. — М.: АН СССР, 1949. — 196 с.
14. *Кузнецов Н.М.* Термодинамические функции и ударные адиабаты воздуха при высоких температурах. — М.: Машиностроение, 1965.
15. *Петров Г.И., Стулов В.П.* Движение больших тел в атмосферах планет // Космич. исслед. — 1999. — **13**, № 4. — С. 587–594.
16. *Покровский Г.И.* О взрывах метеоритных тел, движущихся в атмосфере // Метеоритика. — 1966. — **27**. — С. 103–108.
17. *Резанов И.А.* История взорвавшейся планеты. — М.: Наука, 2004.
18. *Руденко Д.В., Утюжников С.В.* Газодинамические последствия взрыва Тунгусского космического тела // Математическое моделирование. — 1999. — **11**, № 10. — С. 49–61.
19. *Тирский Г.А., Ханукаева Д.Ю.* Баллистика дробящегося метеороида с учетом уноса массы в неизотермической атмосфере. II. // Космич. исслед. — 2008. — **46**, № 2. — С. 122–134.
20. *Шепли Х.* От атомов до млечных путей. — М.: ОНТИ, 1934. — 48 с.
21. *Шуршалов Л.В.* Взрыв в полете // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. — 1984. — № 5. — Р. 126–129.
22. *Шувалов В.В.* Метеорные взрывы в атмосфере Земли // Тезисы докладов International conference “100 years since Tunguska phenomenon: past, present and future”, June 26–28, Moscow, 2008. — С. 75.
23. *Эпиктетова Л.Е.* Траектория Тунгусского космического тела по показаниям очевидцев // Тезисы докладов International conference “100 years since Tunguska phenomenon: past, present and future” June 26–28, Moscow, 2008. — С. 77.
24. *Агафонова И.И., Drobyshevski E.M.* Implications of the Galilean satellites ice envelope explosions. II & III // Earth, Moon, and Planets. — 1985. — **33**. — Р. 1–17., Р. 111–132.
25. *Chyba C.F., Thomas P.J., Zahnle K.J.* The 1908 Tunguska explosion: Atmospheric disruption of a stony asteroid // Nature. — 1993. — **361**. — Р. 40–44.
26. *Decroly J.C., Granicher H., Jaccard C.* Caractere de la conductivite electrique de la glace // Helv. Phys. Acta. — 1957. — **30**. — Р. 465–469.
27. *Drobyshevski E.M.* Was Jupiter the protosun’s core? // Nature. — 1974. — **250**. — Р. 35–36.
28. *Drobyshevski E.M.* The origin of the Solar system: implications for transneptunian planets and the nature of the long-period comets // Earth, Moon, & Planets. — 1978. — **18**. — Р. 145–194.
29. *Drobyshevski E.M.* Electrolysis in space and fate of Phaethon // Earth, Moon, & Planets. — 1980a. — **23**. — Р. 339–344.
30. *Drobyshevski E.M.* The eruptive evolution of the Galilean satellites: Implications for the ancient magnetic field of Jupiter // Earth, Moon, & Planets. — 1980b. — **23**. — Р. 483–491.
31. *Drobyshevski E.M.* The history of Titan, of Saturn’s rings and magnetic field, and the nature of short-period comets // Earth, Moon, & Planets. — 1981. — **24**. — Р. 13–45.
32. *Drobyshevski E.M.* Jovian satellite Callisto: Possibility and consequences of its explosion // Earth, Moon, & Planets. — 1989. — **44**. — Р. 7–23.
33. *Drobyshevski E.M.* On the hypothesis of hyperimpact-induced ejection of asteroid-size bodies from Earth-type planets, Intl. J. Impact Engng. — 1995. — **17**. — Р. 275–283.
34. *Drobyshevski E.M.* The origin of the asteroid main belt: Synthesis of mutually exclusive paradigms // Astron. Astrophys. Trans. — 1997. — **12**. — Р. 327–331.
35. *Drobyshevski E.M.* The young long-period comet family of Saturn // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 2000. — **315**. — Р. 517–520.

36. *Drobyshevski E.M.* Galilean satellites as sites for incipient life, and the Earth as its shelter // *Astrobiology in Russia* (Proc. Intl. Workshop, March 23-29, St.Petersburg, Russia), M.B.Simakov and A.K.Pavlov (eds.). — 2002. — P. 47–62.
37. *Drobyshevski E.M.* Stardust findings favor not only the planetary origin of comets but the underlying close-binary cosmogony of the Solar system as well // *Icarus*. — 2008. — **197**. — P. 203–210; arXiv:astro-ph/0702601v2.
38. *Drobyshevski E.M., Simonenko V.A., Demyanovski S.V., Bragin A.A., Kovalenko G.V., Shnitko A.S., Suchkov V.A., Vronski A.V.* New approach to the explosive origin of the asteroid belt // In: *Seventy-Five Years of Hyrayama Asteroid Families* (Y.Kozai, R.P.Binzel and T.Hirayama, eds). ASP Conference Series. — 1994. — **63**. — P. 109–115.
39. *Drobyshevski E.M., Chesnakov V.A., Sinitsyn V.V.* The electrolytical processes in dirty ices: Implications for origin and chemistry of minor bodies and related objects // *Adv. Space Res.* — 1995. — **16**. — P. (2)73–(2)84.
40. *Drobyshevski E.M., Kumzerova E.Yu., Schmidt A.A.* Deep Impact mission to Tempel 1 favours New Explosive Cosmogony of comets // *Astron. Astrophys. Trans.* — 2007. — **26**, № 4. — P. 251–266.
41. *Flynn G.J.* Review on paper by Drobyshevski (2008). — 2008.
42. *Mao W.L., Mao H.* Hydrogen storage in molecular compounds // *Proc. Natnl. Acad. Sci. USA*. — 2004. — **101**. — P. 708–710.
43. *Ness N.F., Acuna M.H., Lepping R.P., Burlaga L.F., Behannon K.W., Neubauer F.M.* Magnetic field studies at Jupiter by Voyager 1: Preliminary results. *Science*. — 1979. — **204**. — P. 982–987.
44. *Oort J.H.* The structure of the clouds of comets surrounding the Solar System and a hypothesis concerning its origin // *Bull. Astron. Inst. Netherlands*. — 1950. — **11**, № 408. — P. 91–110.
45. *Petrenko V.F., Whitworth R.W.* *Physics of Ice*. — Oxford Univ. Press., 1999.
46. *Sekanina Z.* The problem of split comets in review // In: *Wilkening, L.L. (Ed.), Comets*. Univ. of Arizona Press, Tucson, 1982. — P. 251–287.
47. *Svetsov V.V., Nemtchinov I.V., Teterev A.V.* Disintegration of Large Meteoroids in Earth's Atmosphere: Theoretical Models // *Icarus*. — 1995. — **116**, № 1. — P. 131–153.
48. *Whipple F.J.W.* On phenomena related to the great Siberian meteor // *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* — 1934. — **60**, № 257. — P. 505–513.
49. *Whipple F.L.* A comet model. I. The acceleration of comet Encke // *Astrophys. J.* — 1950. — **111**. — P. 375–394.

Поступила в редакцию 24.10.2011