

УДК 523.51,525.7

АТМОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ ЛЕТА 1908 г.: ВОДА В АТМОСФЕРЕ

© 2011 г. О. Г. Гладышева

Учреждение РАН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, С.-Петербург

e-mail: Olga.Gladysheva@mail.ioffe.ru

Поступила в редакцию 22.03.2010 г.

После доработки 30.11.2010 г.

После Тунгусской катастрофы образовалось гигантское поле серебристых облаков и наблюдались разнообразные солнечные гало. Для объяснения этих аномальных явлений необходимо допустить, что в атмосферу было внесено значительное количество воды, что свидетельствует в пользу кометной природы Тунгусского космического тела. По грубым оценкам, количество воды, попавшей в атмосферу в результате разрушения космического тела, превышает 10^{10} кг. Наблюдение летящего объекта на территории радиусом ≥ 700 км позволяет утверждать, что Тунгусское космическое тело имело диаметр светящейся области (комы) ≥ 10 км и стало видимым на высотах > 500 км. Предположение о том, что Тунгусское космическое тело начало разрушаться на высоте ~ 1000 км объясняет как формирование ареала рассеяния его вещества, так и форму области свечения над Европой.

1. ВВЕДЕНИЕ

Эффекты, связываемые с воздействием Тунгусского космического тела (ТКТ) на земную атмосферу, можно условно разделить на несколько групп. Во-первых, после Тунгусской катастрофы образовалось поле светящихся облаков размером более 10 миллионов квадратных километров. Область “белых ночей” распространилась на территорию от Енисейска и Красноярска, расположенных немного западнее места падения ТКТ, вплоть до Англии, причем ее южная граница достигла Черного моря и Ташкента [Whipple, 1930; Зоткин, 1961; Фесенков, 1968]. Во-вторых, аномальное состояние дневной атмосферы в Англии и Норвегии наблюдалось уже через ~ 12 ч после взрыва ТКТ. Жители Оксфорда, Осло, Екатеринбурга и других городов Европы и Азии отмечали появление разнообразных солнечных гало в виде колец и столбов, а также наблюдали ложные солнца. Если светлые ночи над Россией и Европой в большинстве случаев появились дважды, то аномальное состояние дневной атмосферы в некоторых местах продолжалось месяцы. В Гроссфолке, близ Гамбурга, и июль и август 1908 г. оказались необычайно богаты наблюдениями ложных солнц и гало самых редкостных конфигураций. Важно отметить, что белые ночи видели только в Европе и, частично, в Азии, в то время как о появлении гало и венцов вокруг солнца сообщалось даже из ряда пунктов США (штаты Юта и Вашингтон). В частности, в Вашингтоне солнечные гало наблюдались 1 и 2 июля [Васильев и др., 1965]. В-третьих, было отмечено уменьшение прозрачности земной атмосферы как в Европе, так и в Америке. 4–6 июля 1908 г. в Париже наблюдалось кратковременное довольно сильное понижение прозрачности атмосферы, не связанное видимым образом с облачностью [Васильев и др.,

1965]. Весьма заметное понижение прозрачности со второй половины июля 1908 г. (приблизительно 2 недели после Тунгусской катастрофы) было отмечено в астрофизической обсерватории Mount Wilson в Калифорнии [Turco et al., 1982].

Существует несколько объяснений наблюдавшихся явлений. Чаще всего возникновение белых ночей, последовавших за Тунгусской катастрофой, связывают с образованием гигантского поля серебристых облаков [Шенрок, 1908; Васильев и др., 1965; Ромейко, 1991]. Многочисленные очевидцы наблюдали структуру этих облаков [Whipple, 1930; Руднев, 1909; Полканов, 1946]. Однако вопрос о том, как ТКТ повлияло на формирование серебристых облаков, до сих пор не ясен до конца. Появление аномалий лета 1908 г. связывали с проникновением в атмосферу пыли кометного хвоста или пылевого облака быстро оседающего вещества [Фесенков, 1961; Бронштэн, 1991]. Несомненно, уменьшение прозрачности атмосферы связано именно с запыленностью атмосферы. Однако с пылью никак нельзя связать глобальное распространение белых ночей. Еще Шенрок [1908] отметил, что время осаждения пыли из верхних слоев атмосферы значительно превышает тот период, что наблюдались светящиеся облака. После взрыва вулкана Кракатау пыль в атмосфере держалась несколько месяцев, а не двое суток. Высказывалось предположение, что свечение атмосферы связано с рекомбинацией ионов. Однако, ни излучение молекул и атомов, возбужденных прохождением ТКТ, ни полярное сияние не являются причиной светлых ночей, поскольку все попытки астрономов обнаружить в свечении неба какие-либо эмиссионные линии не увенчались успехом [Шенрок, 1908; Зоткин, 1961].

2. О КОМЕТНОЙ ПРИРОДЕ ТКТ

Гало являются оптическими явлениями в атмосфере, связанными с преломлением и отражением света солнца во взвешенных либо падающих в воздухе ледяных кристаллах. Основной частью серебристых облаков, наблюдающихся на высотах от 74 до 92 км, также являются ледяные кристаллы, сформировавшиеся на ядрах конденсации в окрестностях мезопаузы (~82 км). Следовательно, для получения этих эффектов необходимо внесение воды в атмосферу.

Большинство теорий, рассматривавших атмосферные аномалии лета 1908 г., исходят из кометной природы ТКТ [Астапович, 1958; Фесенков, 1961; Зоткин, 1961; Turco et al., 1982; Бронштэн, 1991; Ромейко, 2008], поскольку метеоритная природа ТКТ, не позволяет объяснить изменение водного баланса атмосферы. Была сделана лишь одна попытка объяснения аномалий лета 1908 г. без привлечения кометной гипотезы. Ромейко [1991] связал атмосферные аномалии с гравитационными волнами от взрывного разрушения ТКТ. На это следует заметить, что гравитационные волны могли бы повлиять на возникновение серебристых облаков, однако поле серебристых облаков в 1908 г. было более мощным, чем типичная едва заметная пелена, обычно наблюдающаяся на высотах мезопаузы. Необычайно светлое сияние, продолжавшееся в большинстве случаев до восхода солнца, охватившее всю площадь Европы, было отмечено как исключительное явление многочисленными очевидцами еще в 1908 г. [Шенрок, 1908; Руднев, 1909]. Ни до лета 1908 г., ни после такого масштабного появления серебристых облаков не наблюдалось, хотя гравитационные волны взрывов неоднократно влияли на температурный режим мезопаузы.

Были высказаны некоторые сомнения в том, что атмосферные аномалии лета 1908 г. вызваны Тунгусской катастрофой. Основным аргументом явилось то, что отдельные наблюдения светлых сумерек предшествовали Тунгусской катастрофе. Однако, как уже упоминалось выше, интенсивность докатастрофных атмосферных эффектов не шла ни в какое сравнение с явлениями, наблюдавшимися после катастрофы. Для объяснения этих фактов естественно предположить, что летом 1908 г. произошло наложение двух эффектов: белых ночей, вызванных Тунгусской катастрофой, и ежегодного летнего появления серебристых облаков.

Таким образом, атмосферные эффекты лета 1908 г. оставляют возможность только кометной природы ТКТ.

3. ВХОД ТКТ В АТМОСФЕРУ

Есть лишь одиночные наблюдения кометы, фрагментом которой могло быть ТКТ [Ромейко, 2008], поэтому не лишено оснований предположе-

ние, что ТКТ не являлось активной кометой до начала взаимодействия с земной атмосферой. Однако в земной атмосфере, согласно наблюдениям многочисленных очевидцев, в солнечный день ТКТ было видно с расстояния $R_{obs} \geq 700$ км [Астапович, 1951]. Это является еще одним доводом в пользу кометной природы ТКТ. Известно, что область свечения метеоритов сопоставима с размерами самого тела, поскольку свечение происходит благодаря формированию ударной волны на лобовой поверхности летящего объекта. Объект размером $D_{obj} \sim 100\text{--}200$ м, каким предполагается размер ТКТ, с расстояния R_{obs} должен был выглядеть как точка, что противоречит свидетельствам очевидцев. Более того, метеориты начинают светиться на высотах $H_{met} \sim 100$ км. С расстояния в 700 км тело, находящееся на высоте H_{met} должно располагаться вблизи линии горизонта, что опять же противоречит наблюдениям очевидцев. Следовательно, наблюдавшийся объект мог являться только кометой. В этом случае, при размере головы кометы D_{obj} , размер комы определяется главным образом плотностью окружающего воздуха. Чем выше находится комета, тем более разрежен воздух, следовательно, тем больший размер имеет кома вокруг объекта.

3.1. Размер наблюдавшегося объекта

Наблюдатель с Мурского порога отметил, что летящее тело было “значительно больше солнца” [Кринов, 1949], очевидцы из Кежмы и Ковы сообщили, что тело было “раза в три больше солнца”, “во много раз больше солнца” [Кринов, 1949], “гораздо больше луны” [Науменко, 1941].

Расстояние L от наблюдателей в населенном пункте Кежма до проекции на земную поверхность траектории полета метеорита ~560 км. Для Ковы и Мурского порога это расстояние еще больше. В рамки этой работы не входит обсуждение траектории движения ТКТ. Однако, следует отметить, что мы не можем взять величину L для расчетов меньше, поскольку траектория привязана к точке, над которой ТКТ пролетело над рекой Лена. Траектория ТКТ пересекла реку Лена вблизи населенного пункта Мироново [Эпиктетова, 1976, 2008] и Петропавловска, где, согласно наблюдениям местных жителей, искра от космического объекта расщепила сосну на горе.

Видимый угловой диаметр солнца и луны $\theta = 1/2^\circ$. Если бы размер объекта для наблюдателей из Кежмы был равен видимому размеру солнца и луны, то его диаметр был бы $D = L \cdot \sin \theta \sim 5.0$ км, где L^* – расстояние от наблюдателя до объекта (примем $L^* \sim 600$ км). Верхний предел видимого размера ТКТ посчитаем равным $D_{up} = 3D \sim 15.0$ км. Однако, когда говорят, что тело было “в три раза больше солнца”, то, возможно, имеют в виду, что его светя-

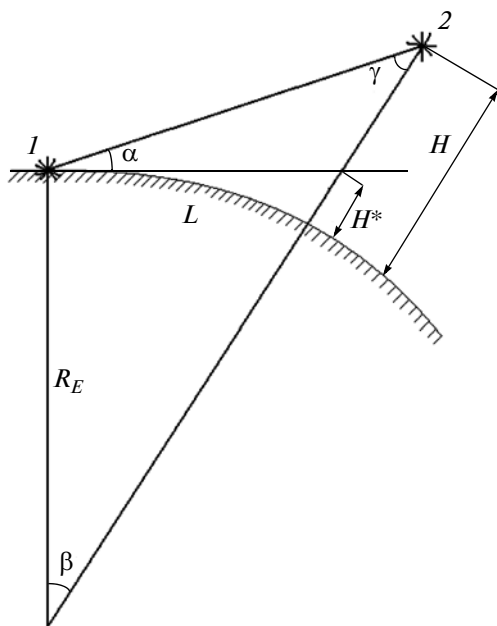


Рис. 1. Схематическое представление расположения наблюдателя (1) и объекта (2).

щаяся поверхность S_m была в 3 раза больше видимой светящейся поверхности солнца S .

$$S_m = 3S = 3\pi \frac{D^2}{4}.$$

Отсюда нижний предел видимого размера ТКТ равняется $D_{\min} \sim 8.5$ км.

3.2. Высота появления объекта

Кроме того, что ТКТ обладало большим видимым размером, следует отметить, что оно появилось на высотах, значительно превышающих высоту загорания метеоров. Наблюдатели из Кежмы [Науменко, 1941] и Каменского, расположенного на Енисее, в 600 км к западу от места падения метеорита [Кринов, 1949], отметили прохождение объекта вблизи солнца. Высоту объекта над поверхностью земли можно определить следующим образом. Обозначим L — расстояние по поверхности земли от наблюдателя до точки, над которой находится объект, α — угол между линией горизонта и направлением на объект, β — угол из центра Земли между направлением на наблюдателя и на объект, γ — угол у объекта (рис. 1), $R_E \sim 6370$ км — радиус Земли. Тогда высота объекта над поверхностью земли H , с использованием теоремы синусов, запишется в виде

$$H = R_E \left(\frac{\cos \alpha}{\sin \gamma} - 1 \right),$$

$$\text{где } \beta = \frac{L}{2\pi R_E} 360^\circ, \gamma = 90^\circ - \alpha - \beta.$$

Часть этой высоты, скрытая от наблюдателя за линией горизонта H^* , соответственно, равна

$$H^* = R_E \left(\frac{1}{\cos \beta} - 1 \right).$$

Согласно наблюдениям Науменко [1941], след ТКТ практически проецировался на диск солнца. Во время полета ТКТ солнце располагалось для наблюдателей под углом $\alpha \sim 27^\circ$. Для Кежмы $L \sim 560$ км, следовательно, ТКТ наблюдалось на высоте $H \sim 330$ км. Для Каменского, что на Енисее, $L \sim 1000$ км, следовательно, если бы ТКТ проецировалось на диск солнца, то оно было бы на высоте $H > 680$ км. Высота видимости ТКТ могла быть меньше, поскольку отмечается, что объект “оторвался от солнца”, однако, следует учитывать, что для Каменского $H^* \sim 90$ км. Мы не сильно ошибемся, считая высоту наблюдения тела из Каменского равной 500–700 км над поверхностью земли. В работе Эпиктетовой [2008], по показаниям очевидцев, определена существенно большая высота появления ТКТ, превышающая 1000 км.

Итак, ТКТ стало видимым на высотах близких к 1000 км, это значительно выше высот появления метеоритов. Размер области свечения, окружавшей космический объект на высоте ~ 300 км, составлял ~ 10 км, что на два порядка превышает предполагаемый диаметр самого космического тела.

4. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТКТ С АТМОСФЕРОЙ

Существует предположение, что комета двигалась к Земле со стороны Солнца (это объясняет отсутствие ее наблюдений до катастрофы), в этом случае ее хвост, ускоренный солнечным ветром и давлением солнечного излучения, мог достичь земной орбиты раньше самого тела. Однако вопрос о взаимодействии пыли и газа хвоста кометы с земной магнитосферой не ясен. Ионизованные молекулы и частицы должны отклониться магнитным полем Земли. Ионы воды не смогут так ускориться, чтобы проникнуть в земную магнитосферу, более того, они развалятся на части при взаимодействии с составляющими земной атмосферы. Незаряженные молекулы воды могут диффундировать через магнитосферу к земле, но этот процесс долгий, значительно превышающий как время жизни молекул воды, разлагающихся солнечным излучением, так и время наблюдения аномальных эффектов лета 1908 г. Через магнитосферу смогут пройти только достаточно крупные тела.

Как было показано ранее, ТКТ стало видимым и начало сбрасывать вещество на высотах $H_{dis} \sim 1000$ км. Высказывается предположение, что разрушение космического тела на этих высотах носило взрывной характер [Эпиктетова, 2008]. Это следует из показаний очевидцев из деревни Александровка Алтайского края, которые наблюдали ТКТ со дна

ущелья: “Солнце в 7 утра уже взошло, но из-за горы Гяден еще не показалось. И вот на небосклоне вдруг возник светлый шар, он быстро увеличивался в размере и яркости... Как только появился этот шар, вся местность озарилась каким-то неестественным светом, с какими-то колебаниями, как волновые вспышки... Неестественный, колеблющийся свет наводил какой-то страх...” [Эпиктетова, 2008]. Увеличение размеров объекта, как и изменение яркости можно объяснить взрывными сбросами вещества. О взрывном взаимодействии вещества ТКТ с атмосферой на протяжении всего полета свидетельствуют как вылетающие из тела и с треском сгорающие искры, отмеченные многочисленными очевидцами [Эпиктетова, 1976], так и звуки: “летел низко-низко... и стрелял часто-часто” [Суворов, 1976].

Существует гипотеза, согласно которой кометы взрываются в земной атмосфере на высотах ~1700 км [Frank et al., 1986]. Эта гипотеза была предложена для объяснения наблюдавшихся кратковременных “атмосферных дыр” в ультрафиолетовом диапазоне. Спутник Dynamics Explorer 1 зарегистрировал 5–20-процентное уменьшение интенсивности дневного собственного свечения атмосферы в ультрафиолетовом диапазоне, на длине волны атомарного кислорода (103.4 нм). Это ослабление ультрафиолетового излучения длится несколько минут. Предполагается, что небольшая комета массой $M_{com} \sim 10^5$ кг превращается в рой частиц и летит расширяющимся конусом, скорее всего во время ее развала выделяются пары воды, которые и поглощают ультрафиолетовое излучение [Frank et al., 1986]. Наблюдения с помощью телескопа, проведенные в Университете Аризоны, не противоречат этому предположению [Yeates, 1989].

Только с помощью этой гипотезы о взрывном взаимодействии комет с атмосферой удастся объяснить ряд экспериментальных фактов, обнаруженных в процессе исследования космического пространства. Во-первых, согласно данным наземного, баллонного и ракетного сумеречного зондирования атмосферы, существует значительная запыленность атмосферы на высотах более 100 км, которая быстро растет с высотой. Это именно те высоты, на которых должны тормозиться частицы взорвавшейся кометы. Во-вторых, аппаратурой спутников Prospero и GEOS-2 были зарегистрированы кратковременные (менее 40 мин) очень сильные повышения частоты регистрации ударов пылинок. Предполагается, что ИСЗ в эти моменты проходили сквозь пылевые струи от взрывов ядер небольших комет. В-третьих, не удастся объяснить количество воды в термосфере, мезосфере и верхней стратосфере только за счет диффузии паров воды и метана (с дальнейшим разложением) из приповерхностных слоев атмосферы. Должен существовать приток во-

ды из космического пространства [Лебединец, 1991].

Принято считать, что верхняя граница атмосферы, как газовой оболочки Земли, достигает высот 2000–3000 км. Кометы, входящие в атмосферу с космической скоростью, подвергаются на этих высотах бомбардировке ионизованными атомами и молекулами, что может способствовать разрушению их структуры. Причины, приводящие к развалу небольших комет и взрывному выбросу вещества с поверхности ТКТ на высотах H_{dis} , должны быть аналогичны причинам резкого изменения блеска комет (вспышкам), наблюдающимся при приближении комет к Солнцу, развалом ядер комет на фрагменты и т.д. Определенную роль в процессе сброса вещества, вероятно, может играть и взаимодействие комет с частицами радиационных поясов Земли, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

5. ШЛЕЙФ РАССЕЙЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

Сброшенное вещество, даже содержащее органическую компоненту, может достичь поверхности земли, если при взрывном выбросе с поверхности космического тела оно потеряет свою космическую скорость. Частицы, сохранившие космическую скорость, начнут гореть или плавиться на высотах H_{mer} . В этом случае земной поверхности смогут достичь только тугоплавкие составляющие сброшенного вещества.

Существуют многочисленные свидетельства очевидцев, отмечавших потемнение, имевшее место непосредственно в день Тунгусской катастрофы: “Стукотня была. Сделалась ночь, потом снова день. Когда стукало, было светло, потом как ночь пала, потом снова день” [Эпиктетова, 2008]. Под “стукотней” в приведенной цитате понимаются звуковые эффекты, сопровождавшие разрушение ТКТ (подробнее см. [Гладышева, 2009]). В большинстве случаев затемнение было подобно сумеркам, мороку, оно длилось $h_{por} \sim 1$ ч. Наблюдалось это затемнение через считанные часы после катастрофы, в ряде случаев совпало со слышимостью звуковых эффектов и даже с моментом пролета тела. Для большей части очевидцев ТКТ пролетело между ними и солнцем, поэтому сброшенное вещество, оседающее к земле в виде облака, могло создать эффект временного потемнения.

Очевидно, что значительная часть сброшенного вещества космического тела будет продолжать двигаться вдоль траектории движения этого тела. В случае, если космическое вещество смогло достичь поверхности земли, место выпадения этого вещества можно определить, например, по его влиянию на растительность. Несколько фактов свидетельствуют о связи прироста биомассы с веществом ТКТ. Во-первых, было отмечено значительное увеличение прироста деревьев как в эпицентре Тунгусской

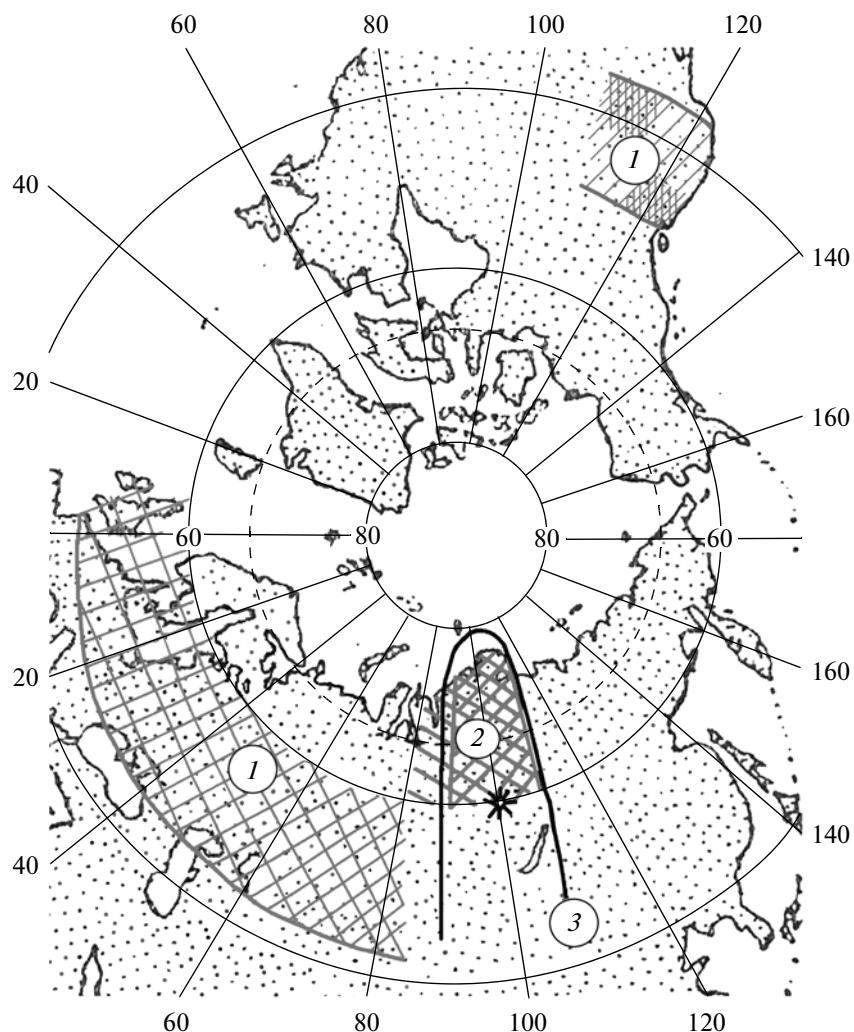


Рис. 2. Северное полушарие Земли. Обозначения: 1 – области наблюдения оптических аномалий лета 1908 г.; 2 – область усиленного роста деревьев после Тунгусской катастрофы [Касаткина и Шумилов, 2007]; 3 – северная часть эллипса рассеяния вещества ТКТ; эпицентр взрыва ($\sim 61^\circ \text{ N} \sim 102^\circ \text{ E}$) показан звездочкой.

катастрофы, так и вдоль траектории полета ТКТ [Некрасов и Емельянов, 1964; Драгавцев и др., 1975; Васильев и Батищева, 1976], что свидетельствует о появлении некоего стимулирующего рост фактора при внесении в почву вещества ТКТ. Во-вторых, была проведена серия экспериментов по влиянию на рост сельскохозяйственных культур комплекса удобрений, состав которых был аналогичен составу зольного вещества слоев торфяной залежи, отобранных в эпицентре взрыва ТКТ и соответствующих времени Тунгусской катастрофы [Голенецкий и др., 1977]. В результате было обнаружено существенное повышение урожайности луговых трав, картофеля и льна [Журавлев и Зигель, 1998]. Таким образом, доказано, что вещество ТКТ способствует усиленному приросту биомассы.

Касаткина и Шумилов [2007] определили область увеличения годичного прироста деревьев, связанного с Тунгусской катастрофой (рис. 2). Эта

область, площадью около 2 млн. км², расположена к северу от эпицентра взрыва с небольшим смещением к западу. Она тянется до Северного Ледовитого океана. Если на этапе сброса вещества на высотах от H_{dis} до H_{met} космическое тело двигалось преимущественно в северном направлении то, учитывая разлет частиц, можно совместить северную часть эллипса рассеяния вещества ТКТ (рис. 2) с зоной ускоренного роста деревьев.

6. ВОДА В АТМОСФЕРЕ

В результате разрушения ТКТ во время полета существенная часть его вещества оказалась в земной атмосфере. В процессе разрушения ТКТ над эпицентром основная масса вещества оставшегося тела также была вынесена в атмосферу. Об этом свидетельствуют рассказы очевидцев, наблюдавших, как над местом, где тело скрылось за горизонтом,

сначала появилось пламя, а затем образовалось облако. “В Киренске, по С. Овчинникову, столб взрыва был как от вспышки бензина или магна, после чего возникло облако, как это обычно и бывает при сильных взрывах или вулканических извержениях... Длительность взрыва описана “мгновенной”, но темные продукты взрыва были видны несколько часов в воздухе, в виде облака, которое потом стало серым или пепельного цвета и более прозрачным” [Астапович, 1951]. Появление облака отметил каждый второй из трех десятков наблюдателей, чьи рассказы опубликованы в каталогах Вознесенского [1925] и Коненкина [1967]. Поскольку облако остатков ТКТ наблюдалось с расстояния ~ 500 км, расчеты дают высоту его нахождения ≥ 80 км. Механизм выноса продуктов взрыва на такую высоту предложен в работе [Гладышева, 2009].

Для того, чтобы оценить количество воды, внесенной в атмосферу, на основе характеристик вечернего и ночного свечения и других атмосферных эффектов лета 1908 г., требуются дополнительные исследования. Количество оказавшейся в атмосфере воды можно лишь грубо оценить по косвенным данным. Согласно Фесенкову [1949], который основывал свои оценки на замутненности атмосферы в результате вторжения ТКТ, в атмосферу попала пыль массой $n \cdot 10^9$ кг. Голенецкий и др. [1981], исходя из подобия вещества ТКТ углистым хондритам, оценили в нем отношение летучих веществ к минеральным. Согласно их предположению, в исходном веществе ТКТ минеральная часть составляла не более 0.1%, следовательно, исходная масса ТКТ равнялась $n \cdot 10^{12}$ кг, а воды в ней $\sim 10^{12}$ кг. Исходя из пропорций пыли и воды, предлагаемой в работе [Лебединец, 1991], воды в ТКТ могло быть от 10^{10} до 10^{12} кг. Если исходить из картины разрушения тела, предложенной в работе [Gladysheva, 2010], то конечная масса тела над эпицентром была $\sim 5 \times 10^9$ кг, следовательно, количество воды, оставленной ТКТ в атмосфере, должно быть не меньше 10^{10} кг.

7. АТМОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ

Дневные, сумеречные и ночные явления, связанные с серебристыми облаками и преломлением света ледяными кристаллами, наблюдались над Европой и частично Азией в области, ограниченной с востока долготой Красноярска, а с юга проходящей по линии Ташкент–Одесса до п-ва Бретань (рис. 2). Согласно Зоткину [1961], западная часть южной границы расположена севернее, чем восточная. Северный край области аномальных эффектов не определен, так как его невозможно выделить на фоне “белых ночей” и незаходящего солнца.

Поле серебристых облаков сформировалось в результате кристаллизации паров воды, освобожденных при разрушении ТКТ и достигших высот 70–90 км. Время наблюдения светлых ночей определя-

ется скоростью оседания ледяных кристаллов на этих высотах. Опускаясь под действием силы тяжести в мезосферу, где с понижением высоты температура растет, ледяные кристаллы должны были терять воду до тех пор, пока полностью не исчезли. Этим объясняется тот факт, что “белые ночи” над Европой и Азией отмечались лишь двое суток.

Вопрос о высотах облаков, ответственных за появление гало, до конца не ясен. Гало появилось до светлых сумерек и наблюдалось в течение нескольких месяцев. Обычно гало наблюдается в облаках на стратосферных высотах (10–20 км), однако, не существует видимых препятствий для образования гало кристалликами серебристых облаков. Согласно сообщению Cave [1908], гало было образовано облаками, располагавшимися выше обычных перистых облаков, поэтому естественно исходить из того, что появление солнечных гало вызвано серебристыми облаками.

Аномальные эффекты начали наблюдаться в Европе на расстоянии $S_{op} \sim 6000$ км через $h_{op} \sim 12$ ч после Тунгусской катастрофы. Следовательно, скорость перемещения вещества в западном направлении V_{fr} от траектории сброса вещества ТКТ можно оценить как $V_{fr} = S_{op}/h_{op} \sim 140$ м/с. Такая скорость слишком велика для атмосферных ветров. Согласно оценкам Иванова [1967], на высотах более 100 км существуют ветра, способные переносить вещество на запад со средней скоростью ~ 50 м/с. В свою очередь Ромейко [1991] утверждает, что ветра, господствующие в этот сезон в верхней атмосфере, должны были вынести вещество на восток, а не на запад. Максимально быстрое восточно-западное течение наблюдалась Вольфом в Гейдельберге 2 июля 1908 г., там похожее на дым облако перемещалось со скоростью 1° в минуту. Предполагая высоту течения 60 км, Whipple [1930] получил скорость перемещения облака ~ 100 м/с.

Учитывая расположение солнца в момент Тунгусской катастрофы можно предположить, что форма восточного, южного и западного краев области атмосферных аномалий определяется переносом вещества под давлением солнечного излучения. В момент Тунгусской катастрофы солнце находилось к востоку от юго-востока. Давлением излучения солнца мелкие фрагменты, расположенные в пределах эллипса рассеяния вещества ТКТ, должны были сноситься сначала практически на запад, а ближе к полудню – на север, пока не произошло их торможение на высотах H_{met} . За время переноса и торможения с этих фрагментов должна была высвободиться вода, которая в виде паров поступила в атмосферу.

Оценим скорость перемещения частиц под действием только солнечного излучения. Ускорение в пылевых хвостах комет, обусловленное давлением солнечного света, по порядку величины близко к $a_{sol} \sim 6 \cdot 10^{-3}$ м с⁻² [Андриенко и Ващенко, 1981].

Пусть частица имеет начальную западную составляющую скорости $V_{st} = 0$ км/с, тогда, двигаясь в отсутствии столкновений в течение времени h_{op} только с ускорением a_{sol} , частица будет перемещаться со средней скоростью $V_m \sim 120$ м/сек. Эта величина сопоставима с требуемой скоростью переноса. Однако на частицу, кроме давления солнечного света, действует еще сила притяжения и, вероятно, силы, связанные с геомагнитным полем. Кроме того, очевидно, что на высотах $\leq H_{met}$ частица уже не сможет двигаться в бесстолкновительном режиме.

Для “ускорения” переноса вещества предлагается следующее. Согласно современным представлениям, кометы являются конгломератом из разнокалиберных шаров (комков). ТКТ, вероятно, не являлось исключением, поскольку очевидцы наблюдали объект, летящий в сопровождении нескольких фрагментов значительно меньшего размера. Очевидцы сравнили ТКТ с домом, а окружавшие его осколки с бочками, причем последние летели, с треском сгорая, на расстоянии ~ 3 -х диаметров космического тела [Эпиктетова, 1976]. Можно предположить, что взрывы на высотах от H_{dis} до H_{met} также могли привести к формированию достаточно крупных фрагментов, выброшенных из тела с ненулевыми западными составляющими скоростей, тем более, что по наблюдениям очевидцев, вариант северо-западного направления движения ТКТ встречается как наиболее распространенный. Эти крупные фрагменты тела, окончательно разрушившиеся уже в небе над Европой, могли обеспечить локальные аномалии через ~ 12 ч после вторжения ТКТ. Кроме того, аналогичные фрагменты могли доставить воду и в Америку, что объяснило бы наблюдавшиеся там аномалии (рис. 2). Перенос основной массы воды из эллипса рассеяния вещества ТКТ, вероятнее всего, был осуществлен за более длительное время, однако, этот вопрос требует дополнительно исследования.

Судя по тому, что “белые ночи” наблюдались в среднем около 2-х суток, можно заключить, что основная масса воды, занесенной ТКТ в земную атмосферу, прошла высоту мезопаузы за это время. Однако в некоторых населенных пунктах солнечные гало и светлые сумерки наблюдались значительно дольше. Это могло быть связано с вертикальной диффузией паров в толще атмосферы, в результате чего вода попадала в области атмосферы с аномально низкой температурой как на высотах мезопаузы, так и на стратосферных высотах.

8. ВЫВОДЫ

Аномальные явления лета 1908 г. можно объяснить только исходя из кометной природы ТКТ, поскольку образование поля серебристых облаков и возникновение гало невозможны без изменения водного баланса атмосферы. Предполагая, что ко-

меты начинают взаимодействовать с земной атмосферой на высотах 2000–3000 км, в результате чего они дробятся и начинают сбрасывать вещество на высотах ~ 1000 км, можно объяснить попадание в земную атмосферу значительного количества паров воды ($\geq 10^{10}$ кг) и пыли ($n \cdot 10^9$ кг). После кристаллизации паров воды на пылинках на высотах 70–100 км сформировалось гигантское поле серебристых облаков. Плотность поля серебристых облаков многократно превышала обычную величину, поскольку сквозь него наблюдалось солнечное гало днем, а ночью практически не было видно звезд. Форма поля серебристых облаков над Европой и частично Азией определяется эллипсом рассеяния вещества, сброшенного на высотах ≥ 100 км, перемещением мелких фрагментов ТКТ под действием давления солнечного излучения и атмосферных ветров. Сбросом вещества на высотах, многократно превышающих высоты появления метеоров, также можно объяснить возникновение шлейфа рассеяния вещества к северу от места Тунгусской катастрофы и многочисленные наблюдения затемнения, последовавшего после пролета тела.

Если исходить из предположения, что на орбитах комет могут существовать рои небольших комет [Лебединец, 1991], то можно объяснить светлые ночи, имевшие место за несколько дней до Тунгусской катастрофы. Считая ТКТ фрагментом развалившейся кометы, естественно предположить, что оно двигалось в окружении обломков — небольших комет. Небольшие кометы разваливаются на высоте более 1000 км и дальше движутся в виде роя частиц. Рой частиц тормозится на высотах 100–300 км, доставляя на эти высоты воду и пыль. Небольшие кометы практически невидимы, и их очень сложно зарегистрировать приборами. Как болиды и метеоры наблюдаются только наиболее крупные из комет, в том числе и ТКТ. Проникновение воды и пыли на высоты мезопаузы, приводящее к образованию серебристых облаков, могло наблюдаться как светлые ночи, наступившие до Тунгусской катастрофы.

Автор благодарит Усокина Илью Германовича и Ковальцова Геннадия Анатольевича за полезные обсуждения вопроса взаимодействия хвоста кометы с магнитосферой Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Андрюченко Д.А., Ващенко В.Н.* Кометы и корпускулярное излучение Солнца. М.: Наука. 164 с. 1981.
- *Астапович И.С.* Большой Тунгусский метеорит. История исследования // *Природа*. № 2. С. 23–32. 1951.
- *Астапович И.С.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: изд-во ф.-м. лит. 640 с. 1958.
- *Бронштэн В.А.* Природа аномального свечения неба, связанного с Тунгусским явлением // *Астрон. вестн.* Т. 25. № 4. С. 490–503. 1991.
- *Васильев Н.В., Батищева А.Г.* О связи ускоренного возобновления леса с траекторией падения Тунгус-

- ского метеорита // Вопросы метеоритики / Ред. Васильев Н.В. Томск: изд-во ТГУ. С. 149–160. 1976.
- Васильев Н.В., Журавлев В.К., Журавлева Р.К., Ковалевский А.Ф., Плеханов Г.Ф.* Ночные светящиеся облака и оптические аномалии, связанные с падением Тунгусского метеорита. М.: Наука. 112 с. 1965.
- Вознесенский А.В.* Падение метеорита 30 июня 1908 г. в верховьях р. Хатанги // Мироведение. Т. 14. № 1. С. 25–38. 1925.
- Гладышева О.Г.* Атмосферный разряд как источник излучения в Тунгусской катастрофе // Геомагнетизм и аэрономия Т. 49. № 3. С. 416–423. 2009.
- Голенецкий С.П., Степанов В.В., Колесников Е.М., Мурашов Д.А.* К вопросу о химическом составе и природе Тунгусского космического тела // Астрон. вестн. Т. 11. № 3. С. 126–136. 1977.
- Голенецкий С.П., Степанов В.В., Мурашов Д.А.* К оценке докатастрофного состава ТКТ // Астрон. вестн. Т. 15. № 3. С. 167–173. 1981.
- Драгавцев В.А., Лаврова Л.А., Плеханова Л.Г.* Эколого-генетический анализ линейного прироста сосны обыкновенной в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. // Проблемы метеоритики / Ред. Соболев В.С. Новосибирск: Наука. С. 132–141. 1975.
- Журавлев В.К., Зигель Ф.Ю.* Тунгусское диво. Екатеринбург: Баско. 168 с. 1998.
- Зоткин И.Т.* Об аномальных оптических явлениях в атмосфере, связанных с падением Тунгусского метеорита // Метеоритика. Вып. 20. С. 40–53. 1961.
- Иванов К.Г.* О природе воздействия Тунгусского падения на верхнюю атмосферу, геомагнитное поле и свечение ночного неба // Геомагнетизм и аэрономия Т. 7. № 6. С. 1031–1035. 1967.
- Касаткина Е.А., Шумилов О.И.* Еще одна загадка Тунгусской катастрофы? // Письма в ЖЭТФ. Т. 85. Вып. 3–4. С. 255–273. 2007.
- Коненкин В.Г.* Сообщения очевидцев о Тунгусском метеорите 1908 года // Проблема Тунгусского метеорита. Вып. 2. С. 31–35. 1967.
- Кринов Е.Л.* Тунгусский метеорит. М.Л.: изд-во АН СССР. 196 с. 1949.
- Лебединец В.Н.* Пылевое облако Земли и атмосферный кислород // Астрон. вестн. Т. 25. № 3. С. 350–363. 1991.
- Науменко Т.Н.* Наблюдение полета тунгусского метеорита // Метеоритика. Вып. 2. С. 119–120. 1941.
- Некрасов В.И., Емельянов Ю.М.* Изучение роста леса в связи с проблемой Тунгусского метеорита // Метеоритика. Вып. 24. С. 152–161. 1964.
- Полканов А.А.* О явлениях, сопровождавших падение Тунгусского метеорита // Метеоритика. Вып. 3. С. 69. 1946.
- Ромейко В.А.* О природе оптических аномалий лета 1908 г. // Астрон. вестн. Т. 25. № 4. С. 482–489. 1991.
- Ромейко В.А.* Современный портрет Тунгусского метеорита // Феномен Тунгуски: многоаспектность проблемы / Ред. Бидюков Б.Ф. Новосибирск: Агророс. С. 172–177. 2008.
- Руднев Д.Д.* Светящиеся ночные облака // Тр. студ. науч. кружков физ.-мат. фак. СПб. ун-та Т. 1. № 1. С. 69–70. 1909.
- Суворов И.И.* Некоторые воспоминания очевидцев Тунгусского падения. // Вопросы метеоритики / Ред. Васильев Н.В.. Томск: изд-во ТГУ. С. 35–38. 1976.
- Фесенков В.Г.* Помутнение атмосферы, произведенное падением Тунгусского метеорита // Метеоритика. Вып. 6. С. 8–12. 1949.
- Фесенков В.Г.* О кометной природе Тунгусского метеорита // Астрон. журн. Т. 38. № 4. С. 577–592. 1961.
- Фесенков В.Г.* Тунгусское падение и связанные с ним проблемы // Метеоритика. Вып. 28. С. 107–113. 1968.
- Шенрок А.* Заря 17(30) июня 1908 г. // Ежемес. метеорологический бюл. Николаевской гл. физ. обс. № 6. С. 1–4. 1908.
- Эпиктетова Л.Е.* Новые показания очевидцев падения Тунгусского метеорита. // Вопросы метеоритики / Ред. Васильев Н.В. Томск: изд-во ТГУ. С. 20–34. 1976.
- Эпиктетова Л.Е.* Траектория Тунгусского метеорита из показаний очевидцев // Феномен Тунгуски: многоаспектность проблемы / Ред. Бидюков Б.Ф. Новосибирск: Агророс. С. 120–135. 2008.
- Cave Ch.J.P.* A remarkable solar halo // Nature V. 78. № 2020. P. 247. 1908.
- Frank L.A., Sigwarth L.B., Craven J.D.* On the influx of small comets into the Earth's upper atmosphere. II. Interpretation // Geophys. Res. Lett. V. 13. № 4. P. 307–310. 1986.
- Gladysheva O.G.* Atmospheric discharge in the Tunguska Disaster // Protecting the Earth against collisions with asteroids and comet nuclei / Eds. Finkelstein, A., Huebner, W., Shor, V. SPb: Nauka. P. 184–188. 2010.
- Yeates C.M.* Initial findings from a telescopic search for small comets near Earth // Plan. Space Sci. V. 37. № 10. P. 1185–1196. 1989.
- Turco R.P., Toon O.B., Park C., Whitten C., Pollack J.B., Noerdlinger P.* An analysis of the physical, chemical, optical, and historical impacts of the 1908 Tunguska Meteor Fall // Icarus. V. 50. P. 1–52. 1982.
- Whipple F.J.W.* The great Siberian meteor and the waves, seismic and aerial, which it produced // Quarterly J. of the Royal Meteorological Soc. V. 56. № 236. P. 287–304. 1930.