

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ВЗРЫВ АЭРОЗОЛЕЙ. К 115-ЛЕТИЮ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

© 2023 г. А. А. Кириш\*

*Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”,  
пл. Академика Курчатова, 1, Москва, 123182 Россия*

*\*e-mail: aa-kirsh@yandex.ru*

Поступила в редакцию 17.02.2023 г.

После доработки 20.03.2023 г.

Принята к публикации 03.04.2023 г.

Предложена гипотеза, согласно которой сохранившиеся следы воздействия на природу при взрыве Тунгусского метеорита являются следствием электрических разрядов в облаке твердых частиц, которые при движении с космической скоростью в верхних слоях атмосферы нагрелись до высокой температуры и вследствие термоэлектронной эмиссии приобрели большие положительные заряды, а выделившиеся термоэлектроны присоединились к молекулам воздуха и отстали от заряженных частиц. В результате разделения зарядов в облаке произошли мощные разряды, аналогичные горизонтальным молниям в облаках. Обсуждаются последствия разрядов в облаке высокозаряженных твердых частиц, вызвавших появление ионизирующего излучения.

DOI: 10.31857/S0023291223600104, EDN: ZOQYYK

### ВВЕДЕНИЕ

Летом 1908 г. произошло событие планетарного масштаба, которое в то время не было исследовано, хотя магнитную бурю зарегистрировали во всем мире. Научные сообщества не успели среагировать, поскольку вскоре началась первая мировая война. Но на это событие, называемое в современной литературе Тунгусским метеоритом (ТМ) или Тунгусским феноменом, обратили внимание позже в связи с испытаниями атомных бомб в верхних слоях атмосферы, поскольку масштабы воздействия на природу были сопоставимы. И, более того, многие последствия того события исследователи могли объяснить только воздействием сильного ионизирующего облучения. По сегодняшним оценкам, энергия взрыва ТМ составляла более  $10^{17}$  Дж, или порядка 10 Мт в тротиловом эквиваленте, и общая площадь его воздействия (вывал леса и ожоги деревьев) превышала  $2000 \text{ км}^2$  [1, с. 29]. Подобные события происходили ранее и могут повториться, и поэтому заслуживают исследования.

Напомним, что очевидцы сообщали о ярких вспышках на светлом небе и грохоте. И, поскольку по многочисленным оценкам исследователей, основной взрыв ТМ произошел на высоте более 5 км, а кратеры в районе катастрофы не были найдены, то большинство исследователей считают, что имела место скорее кометная природа

события, а не астероидная, т.е. полагают, что траектория Земли пересеклась с траекторией кометы. Это подтверждается тем, что накануне и после катастрофы во всем мире наблюдались светлые ночи, что было вызвано рассеянием света на частицах в верхней атмосфере. В то же время имеются сомнения по поводу кометной природы ТМ. В [2] сделано предположение, что это был рыхлый метеорит с очень малой плотностью, и что при соприкосновении с земной атмосферой он мог диспергироваться. С этим трудно согласиться. Невозможно за доли секунды распылить многотонный астероид настолько “тщательно”, чтобы в облаке сохранились частицы микронных размеров, которые были обнаружены участниками многочисленных экспедиций в районе эпицентра взрыва ТМ. Однако само присутствие в облаке ТМ мелких взвешенных частиц является доказанным [1, с. 165]. Они влетели в атмосферу Земли с космической скоростью и, следовательно, нагрелись при трении о воздух, а в результате термоэлектронной эмиссии должны были стать высокозаряженными, поэтому имеющиеся факты необходимо объяснять с учетом их влияния.

Аномальное поведение коллектива высокозаряженных аэрозолей было обнаружено экспериментально в 1970-х гг. в Карповском физико-химическом институте, а некоторые свойства таких частиц и метод их получения впервые были опубликованы

в [3]. Подробно о свойствах коллектива высокозаряженных частиц в воздухе сообщается в [4, 5].

### ПРЕДЕЛЬНАЯ ВЕЛИЧИНА ЗАРЯДОВ ВЗВЕШЕННЫХ В ВОЗДУХЕ ЧАСТИЦ

Участники нескольких экспедиций в район эпицентра взрыва ТМ представили образцы частиц взвешенного химического состава размером от 10 до 100 мкм, хотя, безусловно, там должны были присутствовать и более мелкие частицы. Эти микронные частицы являются одними из немногих основных вещественных доказательств. Они твердые, сферической формы, с гладкой поверхностью. Их гладкая поверхность свидетельствует о том, что они были оплавлены при высокой температуре. Нагрев частиц произошел в результате трения о воздух. При этом в результате эмиссии электронов частицы оказались положительно заряженными. О том, что они были заряжены, свидетельствует форма некоторых гранул, похожих на гантель. Н.В. Васильев назвал их похожими на капли, имея в виду отклонение их формы от сферической формы [1, с. 174]. А это значит, что они готовы были разделиться под действием собственного заряда. В этом случае предельный заряд  $q_{\max}$  капли с радиусом  $r$  соответствует величине, оцениваемой по формуле Релея

$$q_{\max}^2 = 16\pi\sigma r^3, \quad (1)$$

где  $\sigma$  — поверхностное натяжение жидкости, в данном случае расплава. Эта формула была экспериментально подтверждена для монодисперсных капелек на воздухе при нормальных условиях [4]. Причем было показано, что в некоторых случаях одноименно предельно заряженные капельки в субмикронном диапазоне размеров не рассеиваются, а их аномальное поведение объясняется большой напряженностью электрического поля около поверхности частиц  $E > 3.3 \times 10^3$  ед. CGSE ( $E \approx 10^6$  В/см), при которой электроны не присоединяются к молекулам газа, и такая оболочка около частиц, по-видимому, и определяет поведение и свойства частиц в коллективе [4, 5]. Для капли из тугоплавких веществ космического происхождения поверхностное натяжение расплава более, чем на два порядка выше, чем для обычных жидкостей, поэтому можно ожидать еще большего заряда и большей напряженности поля. А если учесть, что еще в 1960-х гг. в лабораторных опытах было обнаружено, что уже при скорости 7 км/с в разреженном азоте (2 мм рт. ст.) частицы не успевали расплавиться и заряжались до зарядов, превышающих релеевские [6], то можно предполо-

жить, что то же самое, по-видимому, произошло и с частицами ТМ. Около твердых, предельно заряженных, не успевших расплавиться частиц напряженность электрического поля еще более, чем на порядок больше, чем у расплавленных. А, поскольку частицы двигались в воздушной атмосфере с космической скоростью, то вылетевшие термоэлектроны должны были отстать от частиц. В этом случае величина максимального заряда  $q_{\max}$  твердых частиц определяется предельной напряженностью поля  $E_0$  на поверхности частицы радиусом  $r$ , которая оценивается из условия

$$E_0^2/8\pi \leq P, \quad (2)$$

где  $P$  — прочность частицы, которая для большинства материалов составляет  $P \leq 10^{10}$  дин/см<sup>2</sup>, откуда получаем электрическое поле на поверхности частицы, равное  $E_0 \leq 5 \times 10^5$  ед. CGSE ( $E = 1.5 \times 10^8$  В/см). При таких значениях  $E$  около поверхности твердых частиц энергия электронов может быть столь высока, что именно они могут явиться причиной появления жесткого излучения. Изменение энергии электрона при перемещении в поле около частицы с радиусом  $r$  на расстоянии порядка средней длины свободного пробега  $\lambda$  электрона в воздухе равно:

$$\Delta W = eq_{\max} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{r + \lambda} \right), \quad (3)$$

откуда находим, что энергия электронов около частиц диаметром  $2r = 10$  мкм для  $\lambda \approx 0.4$  мкм (при нормальных условиях) [7, с. 27] равна примерно  $W \approx 8.8 \times 10^{-9}$  эрг (или 5.5 КэВ), что соответствует жесткому рентгеновскому излучению. В области взрыва на высоте 5 км радиация должна возрасти. Поглощение в воздухе рентгеновского излучения явилось причиной мгновенного нагрева плотного приземного слоя, вызвавшего специфические ожоги деревьев. О горячих потоках воздуха сообщали очевидцы из ближайшего к эпицентру взрыва населенного пункта (поселок Ванавара) [1, с. 79].

Таким образом, основой предлагаемого объяснения природы ТМ является утверждение о разделении зарядов в облаке твердых частиц с последующими очень мощными электрическими разрядами (т.е. по своей природе явление ТМ аналогично молниям в облаках, состоящих из заряженных капелек воды). О разделении зарядов и появлении молний при извержении вулканов вследствие эмиссии электронов из горячих аэрозольных частиц, не самых термостойких, подробно сообщалось ранее в [8]. Добавим, что по сообщениям очевидцев раз-

ряды ТМ были видны в виде длинных ярких полос на фоне светлого неба, похожих на обычные горизонтальные молнии. Кроме того, они слышали несколько взрывов, что свидетельствовало о неравномерном распределении зарядов в летящем облаке частиц. Это подтверждается неравномерным воздействием на растительность по площади эпицентра взрыва. О следах электрических разрядов свидетельствуют характерные ожоги деревьев в виде длинных лентовидных поражений стволов, что отличается от обугливания при обычном пожаре. Отмечается, что деревья были поражены мгновенным действием молний или раскаленных газов, которое, однако, не вызвало большого лесного пожара [1, с. 144–146]. Предполагалось также, что нарушение магнитных свойств местных почв и горных пород вызвано электрическим разрядом. Проявления электрических зарядов во время взрыва инициировали даже гипотезу о том, что ТМ являлся гигантской шаровой молнией (хотя авторы и не знали, что это такое). В то же время ближайшим аналогом геомагнитного эффекта тунгусского взрыва служат геомагнитные возмущения при высотных ядерных взрывах [1, с. 249].

Таким образом, кроме следов электрических разрядов имеются и следы, существование которых можно объяснить только, если признать возникновение мощного ионизирующего излучения в момент взрыва ТМ. К ним относятся сохранившиеся до наших дней следы на камнях, образовавшиеся вследствие термо-люминесценции, возникающей после облучения ионизирующей радиацией [1, с. 140], а также экологические аномалии типа “трех-хвойности” и другие изменения наследственности [1]. Да и авторы [2] считают, что дисбаланс озона, зарегистрированный тогда по всему Земному шару, мог возникнуть только под воздействием радиации. Но следов радиоактивности обнаружить не удалось даже с помощью современных приборов. Следовательно, следы электрических разрядов и следы жесткого рентгеновского излучения есть результат сильной (предельно возможной) электризации частиц.

Вопрос о роли частиц в событиях ТМ ранее не возникал, поскольку в научной литературе доминирует представление, что предельная напряженность электрического поля в воздухе равна  $E = 30$  кВ/см, и поэтому существование высокозаряженных аэрозольных частиц в воздухе невозможно [9]. Это оказалось не так. В работах [4, 5] даны ответы на эти вопросы с высокозаряженными капельками. А относительно недавно о существовании при нормальных условиях субмикронных твердых частиц золота и полистирола с более высоким значением напря-

женности электрического поля до  $E = 5 \times 10^6$  В/см сообщалось в [10]. Кстати, примером высокозаряженных крупных тел являются тектиты — сантиметрового размера шарики с явно взвешенным составом, с оплавленной поверхностью, а иногда и с явно выраженной гангальной формой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данного сообщения было предложить гипотезу, согласно которой сохранившиеся следы воздействия на природу при взрыве Тунгусского метеорита являются следствием электрических разрядов в облаке твердых частиц, которые при движении с космической скоростью в верхних слоях атмосферы нагрелись и приобрели большие положительные заряды, а выделившиеся термоэлектроны присоединились к молекулам воздуха и отстали от заряженных частиц (в результате разделения зарядов в облаке произошли мощные разряды, аналогичные горизонтальным молниям в облаках). В заключение подчеркнем, что события, аналогичные ТМ, случались и раньше. Похожие частицы взвешенного происхождения, относящиеся к данному [11] и другому периоду, в большом количестве находят во льдах Гренландии и Антарктиды. Современное состояние проблемы защиты Земли от малых космических тел (размером до 1 км) дано в обзоре [12]. Отметим также, что вызывает удивление, что исследователи, занимавшиеся с 1960-х гг. проблемой космических коллоидных двигателей и моделированием микрометеоров, не оставили свои комментарии по поводу ТМ.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильев Н.В.* Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908 г. М.: “Русская панорама”, 2004. 372 С., ISBN 5-931165-106-3.
2. *Turco R.P., Toon O.B., Parc C., Whitten R.C., Pollack J.B., Noerdlinger P.* An analysis of the physical, chemical, optical and historical impacts of the 1908 Tunguska meteor fall // *Icarus*. 1982. V. 50. № 1. P. 1–52. [https://doi.org/10.1016/0019-1035\(82\)90096-3](https://doi.org/10.1016/0019-1035(82)90096-3)
3. *Kirsch A.A., Kravtsov A.K.* Study of submicron monodisperse droplets generation by electrostatic atomization // *Abstract Book AAAR'90*. 7. С. 2. P. 192.
4. *Кирш А.А.* Высокозаряженные аэрозоли // *Коллоид. журн.* 2022. Т. 84. № 1. С. 42–48.
5. *Кирш А.А.* Электрогидродинамическое получение монодисперсных субмикронных аэрозолей // *Коллоид. журн.* 2017. Т. 79. № 1. С. 44–59.

6. *Slattery J.C., Friichtenicht J.F., Hamermesh B.* Interaction of micrometeorites with gaseous targets // *AIAA J.* 1964. V. 2. № 3. P. 543–548.  
<https://doi.org/10.2514/3.2360>
7. *Базелян Э.М., Райзер Ю.П.* Искровой разряд. М.: Мир, 1997.
8. *Адамчук Ю.В., Титов В.В.* Электрические процессы и образование молний в вулканическом аэрозоле // Препринт Института атомной энергии им. И.В. Курчатова, ИАЭ-4016/1. М.: ИАЭ, 1984.
9. *Стаханов И.П.* О физической природе шаровой молнии. М.: Научный мир, 1996.
10. *Kim D.S., Lee D.S., Woo C.G., Choi M.* Control of nanoparticle charge via condensation magnification // *J. Aerosol Sci.* 2006. V. 37. №. 12. P. 1876–1882.  
<https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2006.08.003>
11. *Ganapathy R.* // The Tunguska explosion of 1908: Discovery of the meteoritic debris near the explosion site and the South Pole // *Science.* 1983. V. 220. № 4602. P. 1158–1161.  
<https://doi.org/10.1126/science.220.4602.1158>
12. *Александров П.А., Горев В.В.* Космическая защита Земли: первый эксперимент // Препринт ИППФ НАН РА, Ереван, 2014, ISBN 978-99941-2-948-5.