

es/index.mvp/id/5/c/Battery%20Management#c5 (дата обращения: 09.10.2013).

2. Chang W. Y. The State of Charge Estimating Methods for Battery : A Review. Hindawi Publishing Corporation ISRN Applied Mathematics. 2013. Article ID 953792. 7 p.

3. Determination of state-of-charge and state-of-health of batteries by fuzzy logic methodology. A. J. Salkind [et al.] // J. of Power Sources. 1999. Vol. 80, № 1–2. P. 293–300.

4. Shifei Y., Hongjie W., Chengliang Y. State of Charge Estimation Using the Extended Kalman Filter for Battery Management Systems Based on the ARX Battery Model // Energies. 2013. № 6. P. 444–470.

5. Таганова А. А. Герметичные химические источники тока. Элементы и аккумуляторы, оборудование для испытаний и эксплуатации. СПб. : Химиздат, 2005.

6. Hongwen H., Rui X., Jinxin F. Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models for State of Charge Estimation by an Experimental Approach // Energies. 2011. № 4. P. 582–598.

7. Rahmoun A., Biechl H. Modelling of Li-ion batteries using equivalent circuit diagrams // Przegląd elektro-techniczny (Electrical Review). 2012. № 7b. P. 152–156.

8. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М. : Мир, 2001.

References

1. Application note 131. Lithium-Ion Cell Fuel Gauging with Maxim Battery Monitor ICs. Available at :

<http://www.maximintegrated.com/design/techdocs/app-notes/index.mvp/id/5/c/Battery%20Management#c5>.

2. Chang W. Y. The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review. Hindawi Publishing Corporation ISRN Applied Mathematics, 2013, Article ID 953792.

3. Salkind A. J., Fennie C., Singh P., Atwater T., Reisner D. E. Determination of state-of-charge and state-of-health of batteries by fuzzy logic methodology, *Journal of Power Sources*, vol. 80, no. 1–2, p. 293–300, 1999.

4. Shifei Y., Hongjie W. and Chengliang Y. State of Charge Estimation Using the Extended Kalman Filter for Battery Management Systems Based on the ARX Battery Model. *Energies*, 2013, 6, p. 444–470

5. Таганова А. А. *Герметичные химические источники тока. Элементы и аккумуляторы, оборудование для испытаний и эксплуатации* (Sealed chemical power sources. Batteries, equipment for tests and exploitation). St. Petersburg, Himizdat, 2005.

6. Hongwen H., Rui X., Jinxin F. Evaluation of Lithium-Ion Battery Equivalent Circuit Models for State of Charge Estimation by an Experimental Approach. *Energies*. 2011, № 4, p. 582–598.

7. Rahmoun A., Biechl H. Modelling of Li-ion batteries using equivalent circuit diagrams. *Przegląd elektro-techniczny (Electrical Review)*. 2012, № 7b, p. 152–156.

8. Rogers D., Adams D. *Математические основы машинной графики* (Mathematical basis of computer graphics). Moscow, Mir Publ., 2001.

© Хандорин М. М., Букреев В. Г., 2014

УДК 523.64: 52-33

ДРУГОЙ СЦЕНАРИЙ ТУНГУССКИХ СОБЫТИЙ 1908 ГОДА

В. В. Шайдуров

Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660014, Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

Институт вычислительного моделирования СО РАН
Российская Федерация, 660036, Красноярск, Академгородок, 50, стр. 44.
E-mail: shaidurov04@mail.ru

Излагается сценарий многочисленных событий 30 июня 1908 года, обычно называемых тунгусской катастрофой и относящихся ко взрыву космического тела в земной атмосфере. Этот сценарий не совпадает с наиболее распространенной версией событий, но может объяснить разнообразный круг явлений, произошедших на огромной территории от Западной Европы до Восточной Сибири. Его обоснование опирается на фактический материал, собранный и классифицированный на протяжении десятилетий самоотверженными исследователями тунгусских событий. В статье изложена только схема обоснования, опирающаяся на физические явления, известные из университетских учебников. Более подробное изложение и верификация каждого эффекта будут проведены в последующих статьях путем детального сравнения с накопленным за десятилетия фактическим материалом.

Ключевые слова: Тунгусский метеорит, кометные осколки, ионизация, сила Лоренца, разделение ионов, диссоциация молекул, дипольные образования.

ANOTHER SCENARIO OF TUNGUSKA EVENTS IN 1908

V. V. Shaidurov

Siberian State Aerospace University named after academician M. F. Reshetnev
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660014, Russian Federation
Institute of Computational Modeling, Siberian Branch of RAS
50, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation
E-mail: shaidurov04@mail.ru

The article describes a scenario of many events on 30 June 1908, commonly called Tunguska catastrophe and related to the explosion of a space body in the Earth's atmosphere. This scenario is not the same as the most common versions of these events, but it can explain the diverse range of phenomena that occurred in the vast area from Western Europe to Eastern Siberia. The rationale for this scenario is based on factual data collected and classified during decades by selfless researchers of Tunguska events. In this paper the only scheme of justification is presented that based on the physical phenomena known from university textbooks. A more detailed explanation and verification of each effect will be carried out in the further papers by careful comparison with the factual material accumulated during decades.

Keywords: Tungus meteorite, comet fragments, ionization, Lorenz force, separation of ions, dissociation of molecules, dipole formations.

Траектория космического тела вблизи эпицентра разрушений. В течение нескольких минут после полуночи по гринвичскому времени (GMT) 30 июня 1908 г. (17.06.1908 г. по старому стилю) Земля пересекла траекторию осколков разрушенного кометного тела. Большая часть этих осколков сгорела, ионизировалась, взорвалась высоко в атмосфере, дав ряд воздушных и наземных эффектов [1; 2].

Наибольшие наземные эффекты проявились в хорошо известной и исследованной местности в бассейне реки Подкаменная Тунгуска Красноярского края с координатами эпицентра $60^{\circ}53'$ с. ш. и $101^{\circ}53'$ в. д., где произошло значительное поражение местности. Тщательный анализ физических эффектов и повреждений дает основания утверждать, что движение главного космического тела, взорвавшегося в 0 ч 14 мин GMT на высоте в несколько километров над эпицентром, происходило по азимуту $\sim 276^{\circ}$ (здесь и далее, отсчитываемому к востоку от северного направления географического меридиана, т. е. по часовой стрелке). Таким образом, по предлагаемому здесь сценарию движение космического тела до взрыва происходило вдоль оси симметрии поражений лесного массива, выведенной В. Г. Фастом еще в 1967 г. [3; 4], но в противоположном направлении.

Направление движения в свое время было выбрано для согласования с показаниями «восточных очевидцев», проживавших в верховьях рек Нижней Тунгуски и Лены [1; 5]. Правда, по мере согласования траектории с их показаниями, обострялось противоречие с показаниями «южных очевидцев», проживавших на Ангаре в поселке Кежемском. Между тем, мы покажем, что «восточные» и «южные» очевидцы наблюдали вторичные эффекты, несомненно связанные с аналогичными осколками, но не имеющие прямой связи со взрывом в эпицентре. В самом деле, если принять во внимание такую отброшенную как бесполезную информацию о том, что в ряде поселений 30-го июня 1908 г. (например, в Ново-Удинское, Тангуй,

Балаган [2; 5]) ничего необычного не наблюдалось, то зоны необычных явлений окажутся геометрически изолированными. Количество этих зон мы попробуем вывести из исследований Ф. Уиппла [6] чуть позднее.

Разделение и консервация ионов во время пролета болида в атмосфере. Хорошо известно, что при скоростях входа космического тела в атмосферу порядка 20 км/с происходит ионизация как привнесенного материала, так и воздуха [7; 8]. С учетом кулоновских сил взаимодействия разноименных зарядов среднее время жизни таких ионов до рекомбинации обычно оказывается незначительным. Между тем, в данной ситуации время их раздельного существования значительно увеличивается двумя явлениями.

Во-первых, при движении иона заряда $+e$ или $-e$ с вектором скорости \mathbf{v} в магнитном поле Земли на него действует сила Лоренца, равная $\pm e (\mathbf{E} + [\mathbf{v} \times \mathbf{B}])$, где \mathbf{E} – вектор напряженности электрического поля; \mathbf{B} – вектор магнитной индукции [9]. Поскольку далее речь пойдет о разреженной атмосфере, то с большой точностью можно положить $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; \mathbf{H} – вектор напряженности магнитного поля Земли в соответствующем месте. Кроме того, в условиях невозмущенной атмосферы на больших высотах можно положить первое слагаемое в скобках \mathbf{E} равным нулю [6]. В итоге с учетом угла α между векторами \mathbf{v} и \mathbf{H} на заряд $\pm e$ действует сила, равная $F = \pm e v \mu_0 H \sin \alpha$, где v и H – численные значения модуля векторов \mathbf{v} и \mathbf{H} . Причем направление действия силы Лоренца *противоположно* для ионов разных знаков.

Напомним, что в регионе, где происходили основные события, наклонение вектора напряженности магнитного поля Земли было таково, что магнитные силовые линии уходили в земную поверхность с углом $\sim 77^{\circ}$ [10; 11].

Поэтому при входе болида в атмосферу происходит образование, разделение и накопление ионов в спутном потоке (рис. 1). В самом деле,

ионизация материала происходит главным образом в носовой части ударной волны, после чего ионы уносятся в спутный поток по разные стороны в зависимости от знака ввиду силы Лоренца. Что касается диссоциации молекул, то она происходила по всей поверхности ударной волны и в части спутного потока. На первый взгляд кажется, что накопление разделенных ионов в указанной области активной ионизации может создать локальное электрическое поле с напряженностью E противоположного направления к $[\mathbf{v} \times \mathbf{V}]$. Но спутный поток движется со скоростью меньшей, чем ударная волна [7; 12], и образующиеся ионы отстают от зоны активной ионизации, не накапливая существенной разницы зарядов вблизи нее.

Таким образом, в носовой части ударной волны работает «фабрика» по производству и разделению ионов, а во всей ударной волне происходит массовая диссоциация молекул [7].

Другим фактором, увеличивающим время жизни ионов до их рекомбинации в спутном потоке, является их изоляция диполями. Одним из главных дипольных объектов, фигурирующих в создании описываемых физических эффектов, является молекула воды. Из-за теплового вращения единичной молекулы направление ее диполя в пространстве быстро меняется. Другое дело – кластеры воды, в которые эти молекулы собираются за счет водородных связей. В настоящее время проведена подробная классификация этих кластеров, в частности, определившая кластеры с наиболее выгодными энергетическими состояниями при разных температурах окружающей среды [13]. Многие из них обладают суммарным дипольным моментом [14]. В результате такие кластеры, да и сталкивающиеся с ионом другие молекулы с дипольным моментом (воды, гидроксила (ОН), окиси углерода (СО)) ввиду взаимодействия с его зарядом облепляют его, изолируя от облепленных ионов другого знака. В последующем два таких образования с ионами разных знаков за счет кулоновской силы могут слипаться в конгломерат, оставаясь изолированными и образуя диполь с еще большим моментом.

Теперь проясним вопрос с наличием водяных паров в спутном потоке. На первый взгляд, кажется невероятным существенное наличие льда или воды в обсуждаемом космическом теле. Дело в том, что при таком расстоянии до Солнца их присутствие дало бы

заметную газообразную кому. Вместе с тем, таких признаков не наблюдалось, хотя видимость неба в предшествующие ночи и была понижена. Отсутствие заметной комы может быть объяснено тем, что фрагменты космического тела состояли из «подсохшего» материала старой кометы, уже побывавшей в окрестности Солнца на предыдущих витках орбиты. Это предположение может объяснить также микроструктуру космического тела, состоящего главным образом из металлосиликатной пыли [15; 16], а также ее окислов и гидратов, полученных при предыдущих тепловых воздействиях. Тогда появление водяных паров при взаимодействии тела с атмосферой вызвано дегидратацией его пылевого состава. Это дало значительные атмосферные эффекты, доказывающие наличие в космическом теле большого запаса связанной воды [1; 17].

Итак, спутный поток падающего болида содержал большое количество разделенных ионов, а также радикалов, суммарно обладающих большим запасом энергии рекомбинации.

Движение газовых потоков после взрыва. При взрыве перегретой ионизированной смеси происходило сложение трех движений:

- 1) поступательное (уже основательно замедленное до звуковых скоростей) движение внесенного космического и захваченного материала;
- 2) «сферическое» распространение взорвавшейся массы;
- 3) смещение заряженных ионов благодаря силе Лоренца, перпендикулярное к векторной сумме двух предыдущих движений и к магнитным силовым линиям.

На сумму этих движений конечно влияет газодинамическое сопротивление атмосферы и образующиеся перепады давления и температуры, но их влияние тем меньше, чем выше скорость движения.

Именно благодаря силе Лоренца ионы двигались по криволинейным траекториям. Изменение направления характеризуется ускорением $a = F/m$, где m – масса ионизированной частицы. Отсюда изменение прямолинейного направления тем сильнее, чем выше скорость $v \sin \alpha$ перемещения этой частицы в направлении, перпендикулярном магнитным силовым линиям и чем меньше ее масса.

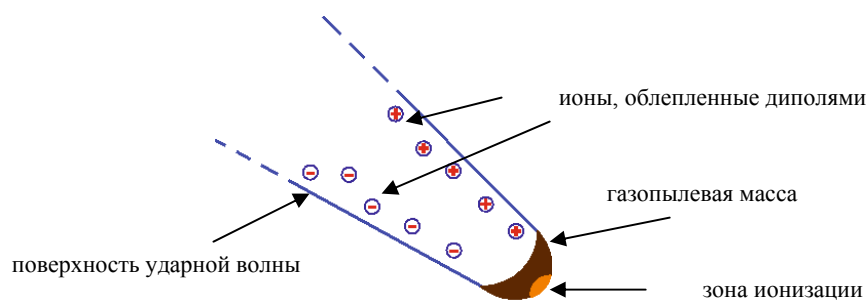


Рис. 1. Разделенные ионы в спутном потоке: вид из точки сверху и южнее

Напомним, что максимальная скорость внесенного и захваченного материала достигается на переднем (по нашему сценарию на восточном) фронте ударной волны ввиду абсолютного сложения скоростей двух первых движений. Кроме того, исходя из наличия поражений на запад от эпицентра, можно заключить, что на момент взрыва скорость разлета взорвавшейся массы оказалась выше скорости поступательного движения. Поэтому на заднем (западном) фронте ударной волны суммарная скорость (точнее, разность их абсолютных значений) двух первых движений тоже оказалась ненулевой. В итоге эта часть ионизированного материала тоже дала свой вклад в поражение лесного массива, хотя и существенно меньший по площади, чем в направлении исходного движения импактного материала.

На наш взгляд, именно ионизированный материал не только вызвал нарушение «идеальной» картины вывала и поражения леса, но и в значительной мере повлиял на нее.

В этой связи напомним утверждение, сформированное в работе [4] и проверенное последующими исследованиями [1] (см. рис. 1): «Область вывала может быть разделена на четыре квадранта, симметричных относительно линии, проходящей с востоко-юго-востока на запад-северо-запад через эпицентр в направлении 99° к востоку от географического меридиана. В первом квадранте, между 12° и 99° , значения отклонений от радиального направления отрицательны, т. е. имеет место сдвиг влево, против часовой стрелки, во втором – положительны (отклонение по часовой стрелке), в третьем – снова отрицательны и в четвертом – опять положительны. Отклонения эти статистически высокодостоверны и свидетельствуют о наличии факторов, существенно влияющих на общую картину радиальности. В литературе по Тунгусскому метеориту указанные отклонения получили наименование осесимметричных. Отчетливее они выражены в северо-восточных и юго-восточных квадрантах, где они достигают величины 7° и даже 14° » [1].

Отклонения именно с такими знаками и должны получиться с учетом силы Лоренца. Например, в первый квадрант во время взрыва с переднего фронта выносятся ионы с положительным зарядом (катионы), на которые действует сила, разворачивающая их против часовой стрелки. Во второй квадрант во время взрыва с переднего фронта выносятся ионы с отрицательным зарядом (анионы), на которые действует сила, разворачивающая их по часовой стрелке. В третий квадрант во время взрыва с заднего фронта снова выносятся катионы, на которые действует сила, разворачивающая их против часовой стрелки. А попавшие в четвертый квадрант анионы разворачиваются по часовой стрелке. Кроме того, в восточном направлении скорости взрывной волны и поступательного движения складываются, а в западном – вычитаются. Поэтому отклонения отчетливее выражены в восточных квадрантах, где суммарная скорость материала v существенно выше.

Итак, к поражающим факторам в районе тунгусской катастрофы в предлагаемом сценарии добавляется *энергия рекомбинации ионов*, выделяемая непосредственно в контакте с растительностью, почвой, скальными породами и водой.

Не меньшее значение имеет *энергия рекомбинации радикалов*, получившихся при высокотемпературной диссоциации молекул привнесенного космического и захваченного атмосферного материала и его абляции. И хотя энергия акта рекомбинации ионов обычно значительно больше энергии рекомбинации радикалов, плотность радикалов в спутном потоке существенно больше плотности ионов. Это делает ассоциацию радикалов еще одним поражающим фактором, тоже в существенной мере реализуемым непосредственно в контакте с наземными объектами.

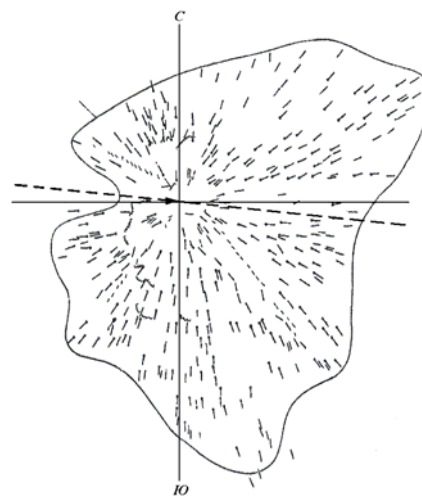


Рис. 2. Контур зоны поваленных деревьев («бабочка» В. Г. Фаста) и локальноосредненные направления поваленных деревьев из публикаций [1; 3; 4]. Эпицентр находится в начале координат, а пунктирная линия обозначает проекцию предложенной траектории космического тела на поверхность Земли и ее продолжение после взрыва

Отметим, что площадь поражения и сами поражения несколько меньше на север относительно предложенной траектории движения импактного материала. Возможное объяснение состоит в том, что сила Лоренца в южной части прижимает поток ионов к поверхности Земли с углом $\sim 13^\circ$, усиливая его поражающий фактор, а в северном направлении – поднимает поток ионов от поверхности с тем же углом $\sim 13^\circ$, рассеивая его на большую территорию. Поэтому фигура «бабочки» В. Г. Фаста, по нашей версии летящей с запада на восток, несколько несимметрична относительно предложенной траектории движения импактного материала за счет большей южной части площади поражения.

Использование информации о звуковых волнах. Для подтверждения неединственности болида и направления их полета привлечем данные нескольких барографов в Англии (рис. 3) и их обработку, представленные Ф. Уипплом [6]. Как видно, на

каждой станции при регистрации акустического сигнала самописцы дали разные линии. Но все эти записи имели общие черты, которые Ф. Уиппл отразил в обобщенной кривой, приведенной на рис. 4. Видно, что возмущение начинается со слабого увеличения давления, за которым следует его сильное уменьшение. После четырех слегка затухающих колебаний с периодом около 2 мин приходит сильная осцилляция, начинающаяся со значительного уменьшения давления. После трех быстрых и затухающих колебаний это воздействие стало менее заметным на фоне наложения на медленно затухающее первое воздействие. Но примерно в 5 ч 28,5 мин и в 5 ч 31 мин приходят еще два возмущения меньшей амплитуды.

Сам Ф. Уиппл объяснял первое воздействие прохождением болида в воздухе, второе – взрывом метеорита на земле. Поскольку теперь известно об отсутствии взрыва на земле, то первое воздействие обычно трактуют как исходные взрывы болида, а последующие – как электрические вспышки-разряды [2].

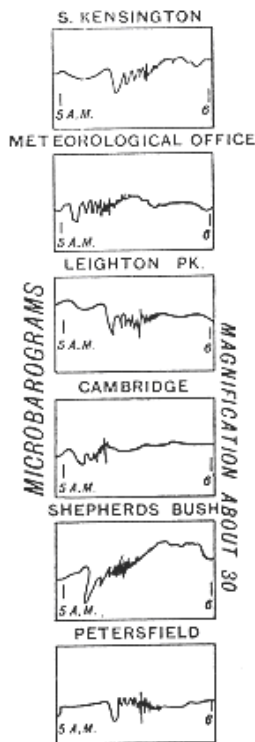


Рис. 3. Барограммы английских станций, зарегистрировавших распространявшиеся по воздуху волны от взрывов тунгусских болидов

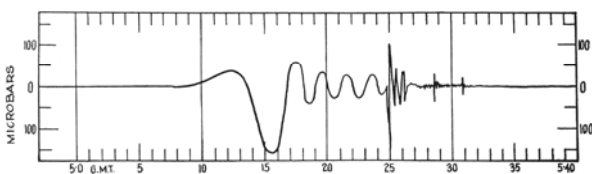


Рис. 4. Результирующая кривая, отражающая колебания давления звуковой волны от тунгусских взрывов

Между тем, приход сначала сильной волны низкого давления в первом и втором случае уже говорит о том, что силовые воздействия на атмосферу были направлены, главным образом, в сторону, противоположную от станции измерения, т. е. с запада на восток. Небольшая пришедшая первой волной повышенного давления тоже находит свое объяснение ввиду некоторого распространения взрывной волны на запад, как это уже отмечено в предыдущем разделе. Обычно проводимое сравнение с ядерным взрывом здесь приводит к существенному различию, поскольку от ядерного взрыва волна разрежения принципиально не может прийти впереди волны сжатия [7].

Таким образом, естественно предположить, что произошло 4 взрыва. Первый из них был самым мощным, судя по масштабу воздействия на атмосферу. Но после него последовало еще три взрыва меньшей мощности, последствия которых тоже можно проследить ввиду накопленных данных.

Итак, в статье изложены главные тезисы предполагаемого сценария тунгусских событий 1908 г. Здесь не проводилось его тщательное обоснование и объяснение различных сопровождавших физических эффектов. Это будет детально сделано в последующих статьях, специализированных по соответствующим физическим эффектам.

Здесь же главное отличие от доминирующей в настоящее время гипотезы состоит в разъединении событий 1908 г. в эпицентре взрыва на Подкаменной Тунгуске и наблюдаемых эффектов на Ангаре, Енисее и притоках Лены. Оно снимает необходимость «притягивания» осей поражения и вывала леса к траекториям наблюдаемых вторичных образований, а тогда картина событий будет становиться все более четкой.

Библиографические ссылки

1. Васильев Н. В. Тунгусский метеорит. Космический феномен лета 1908 г. М. : Русская панорама, 2004.
2. Гладышева О. Г. Тунгусская катастрофа: детали головоломки. СПб. : Наука, 2011.
3. Фаст В. Г. Статистический анализ параметров Тунгусского вывала // Проблема Тунгусского метеорита. Томск, 1967. Вып. 2. С. 40–61.
4. Фаст В. Г., Баранник А. П., Разин С. А. О поле направлений повала деревьев в районе падения Тунгусского метеорита // Вопросы метеоритики. Томск, 1976. С. 39–52.
5. Н. В. Васильев [и др.]. Показания очевидцев тунгусского падения (каталог) [Электронный ресурс]. Томск, 1981. Деп. в ВИНТИ 24.11.1981, № 10350-81. URL: www.tunguska.ru/obzor/catalog/.
6. Whipple F. J. W. The great Siberian meteor and the waves, seismic and aerial, which it produced // Quarterly J. of the Royal Meteorological Society. 1930. Vol. 56, № 236. P. 287–301.
7. Зельдович Я. Б., Райзер Ю. П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М. : Физматлит, 2008.

8. Катастрофические воздействия космических тел / под ред. В. В. Адушкина, И. В. Немчинова. М. : Академкнига, 2005.

9. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. Т. 5. Электричество и магнетизм. М. : Мир, 1977.

10. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л. : Изд-во Ленинград. ун-та, 1978.

11. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [Электронный ресурс]. URL: www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/.

12. Крайко А. Н. Краткий курс теоретической газовой динамики. М. : МФТИ, 2007.

13. Miyake T., Aida M. H-bond patterns and structure distributions of water octamer (H₂O)₈ at finite temperatures // Chemical Physics Letters. 2006. Vol. 427. P. 215–220.

14. Gregory J. K., Clary D. C., Liu K., Brown M. G., Saykally R. J. The Water Dipole Moment in Water Clusters // Science. 1997. Vol. 275, no. 5301. P. 814–817.

15. Флоренский К. П. [и др.]. Химический состав космических шариков из района Тунгусской катастрофы и некоторые вопросы дифференциации вещества космических тел // Геохимия. 1968. № 10. С. 1163–1173.

16. Glass B. P. Silicate spherules from Tunguska impact area: electron microprobe analysis // Science. 1969. Vol. 164, № 3879. P. 547–549.

17. Turco R. P. [et al.]. An analysis of the physical, chemical, optical and historical impacts of the 1908 Tunguska meteor fall // Icarus. 1982. Vol. 50, № 1. P. 1–52.

References

1. Vasiliev N. V. *Tungusskii meteorit. Kosmicheskii fenomen leta 1908 g.* (Tungus meteorite. Space phenomenon of summer 1908.). Moscow, Russkaya panorama Publ., 2004.

2. Gladysheva O. G. *Tungusskaya katastrofa: detali golovolomki* (Tungus catastrophe: the pieces of the puzzle). Sankt-Petersburg, Nauka Publ., 2008.

3. Fast V. G. *Statisticheskii analiz parametrov Tungusskogo vyvala. Problema Tungusskogo meteorita* (Statistical analysis of parameters for Tungus tree fall. Problem of Tungus meteorite). Tomsk, 1967, Issue 2, p. 40–61.

4. Fast V. G., Barannik A. P., Razin S. A. *O pole napravlenii povala derev'ev v raione padeniya Tungusskogo meteorita. Voprosy meteoritiki* (About direction field of tree fall in the region of Tungus meteorite falling. Meteoritics questions), Tomsk, 1976, p. 39–52.

5. Vasiliev N. V., Kovalevskiy A. F., Razin S. A., Epitektova L. E. *Pokazaniya ochevidtsev tungusskogo padeniya (katalog)* (Eyewitness testimonies of Tunguska fall (catalog)). Tomsk, 1981. Deposited at VINITI, 24.11.1981, № 10350-81. www.tunguska.ru/obzor/catalog/.

6. Whipple F. J. W. (1930) *The great Siberian meteor and the waves, seismic and aerial, which it produced*. Quarterly J. of the Royal Meteorological Society. 1930. Vol. 56, № 236, p. 287–301.

7. Zel'dovich Ya. B., Raizer Yu. P. *Fizika udarnykh voln i vysokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh yavlenii* (Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena). Moscow, Fizmatlit Publ., 2008.

8. *Katastroficheskie vozdeistviya kosmicheskikh tel* (The catastrophic effects of cosmic bodies). Moscow, Akademkniga Publ., 2005.

9. Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M. *The Feynman Lectures on Physics: The Complete and Definitive Issue*. Vol. 2, Pearson PTR, 2005.

10. Yanovskii B. M. *Zemnoi magnetizm*. (Earth's magnetism). Leningrad University, 1978.

11. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Available at: www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/.

12. Kraiko A. N. *Kratkii kurs teoreticheskoi gazovoi dinamiki* (Short course of theoretical gas dynamics). Moscow, MFTI, 2007.

13. Miyake T., Aida M. *H-bond patterns and structure distributions of water octamer (H₂O)₈ at finite temperatures*. Chemical Physics Letters, 2006, vol. 427, p. 215–220.

14. Gregory J. K., Clary D. C., Liu K., Brown M. G., Saykally R. J. *The Water Dipole Moment in Water Clusters*. Science, 1997, vol. 275, no. 5301, p. 814–817.

15. Florenskii K. P., Ivanov A. V., Il'in N. P. et al. *Khimicheskii sostav kosmicheskikh sharikov iz raiona Tungusskoi katastrofy: I nekotorye voprosy differentsiatsii veschestva kosmicheskikh tel*. Geokhimiya (The chemical composition of cosmic balls from the area of the Tunguska catastrophe and some questions of matter differentiation for celestial bodies. Geochemistry). 1968, № 10, p. 1163–1173.

16. Glass B. P. *Silicate spherules from Tunguska impact area: electron microprobe analysis*. Science. 1969, vol. 164, № 3879, p. 547–549.

17. Turco R. P., Toon O., Park C. et al. *An analysis of the physical, chemical, optical and historical impacts of the 1908 Tunguska meteor fall*. Icarus. 1982, vol. 50, № 1, p. 1–52.