

УДК 523.68

О ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ И КОМЕТНОЙ ПРИРОДЕ ЯРКОГО БОЛИДА EN171101 «ТУРЬИ РЕМЕТЫ» В ЗАКАРПАТЬЕ

**Белевцев Р.Я., Чурюмов К.И., Мозгова А.М., Соботович Э.В., Спивак С.Д.,
Блажко В.И., Лазаренко Е.Е., Кузенко С.В., Бондаренко А.С.**

Белевцев Р.Я. д. г.-м. н., зав. отд., профессор, член-корр. НАН Украины, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», belevtsev@ukr.net

Чурюмов К.И. д. ф.-м. н., зав. отд., профессор, член-корр. НАН Украины, Астрономическая обсерватория Киевского Национального Университета им. Тараса Шевченко climchur@ukr.net

Мозгова А.М. н. с., Астрономическая обсерватория Киевского Национального Университета им. Тараса Шевченко.

Соботович Э.В. академик НАН Украины, ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Спивак С.Д. вед. н. с., к. г. н., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Блажко В.И. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Лазаренко Е.Е. ст. н. с., к. г.-м. н., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Кузенко С.В. н. с., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

Бондаренко А.С. инж. 2 кат., ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

В работе изложены результаты поисковых шлиховальных, минералого-петрографических и физико-химических исследований вещества яркого болида EN171101 («Турьи Реметы») в Закарпатье. Были найдены свежие магнитные железистые фаялит-вюститовые космические шарики, размер которых увеличивается с запада на восток по следу полета болида. Проанализированы изменения физических параметров болида, который пролетает со скоростью от 18,5 км/с, преодолевая путь в 106 км по орбите за 7 секунд, с высоты от 81 км. При этом существенно возрастает кинетическая энергия и сила сопротивления среды, что проявляется в резком расширении светящегося следа болида на высоте 30 км в его максимуме с увеличением объема его высокотемпературного газа в 10^6 раз. Затем наблюдается быстрое сужение следа болида и выклинивание его на высоте 13,5 км при уменьшении скорости и массы в 10 раз. Болид «Турьи Реметы» имел не метеоритную, а метеорную природу. Перед началом светимости болида его первичное еще холодное ледяное тело представляло собой микрокому, с вращением вокруг Солнца по эллиптической орбите близкой к орбите Венеры. Определены термодинамические параметры реакций в веществе болида. Давление и температура газа в болиде вначале быстро растут, а затем с увеличением объема резко уменьшаются до равновесного значения. Эти процессы в болиде связаны с вхождением его во все более плотные слои атмосферы Земли, что предопределяет его выклинивание и погасание. Определены термодинамические условия описанных процессов и химических реакций преобразования преимущественно водного высокотемпературного газа в падающем болиде. Природа болида связана с термодинамической эволюцией комет – как самопроизвольным и необратимым процессом с уменьшением внутренней энергии и увеличением энтропии системы до достижения состояния равновесия. Первичный источник вещества комет связан с эволюцией вещества солнечных протуберанцев, в которых происходит охлаждение солнечной рассеянной газовой плазмы с удалением легких газов в результате диффузии и конденсации водного газа с образованием кометного льда, в котором содержание дейтерия увеличивается по сравнению с протием. В кометах обнаружен свободный кислород, который образуется по реакции между жидкой водой и газообразным хлором при повышении температуры в перигелии комет. Обоснована кометная природа болида «Турьи Реметы» как микрокометы с первичным ледяным ядром, что важно для космоэкологии.

Ключевые слова: термодинамика болида, физические параметры, скорость, кинетическая энергия, сила сопротивления среды, объем, давление и температура газа, изотопы, состав железистых космических шариков из шлихов, кометная природа болида

Введение

Космос является одной из важнейших сфер Земли, поскольку наша планета является космическим телом, которое постоянно получает из космоса разного вида космическое излучение и космическое вещество в виде метеоритов, космической пыли, метеоров и болидов, которые существенно влияют на другие геосферы Земли – атмосферу, земную кору, гидросферу и среду обитания человека.

В 2001 году в атмосфере был зафиксирован яркий болид EN171101, упавший близ поселка Турьи Реметы в Закарпатье. Этот болид «Турьи Реметы» был сфотографирован с помощью словацких и чешских камер Европейской болидной сети (ЕС) 17 ноября 2001 г. в 16:52:44 UT [11] (рис. 1, 3). Длина светящегося следа болида достигала 107 км, а угол падения около 40° . Свечение болида началось на высоте 81,4 км в 10 км на юго-запад от украинского города Долина. Максимальной яркости – 18 абсолютной звездной величины – он достиг на высоте 30 км. Начальная скорость болида составляла 18,5 км/с, а закончил он свой путь при скорости 3,8 км/с на высоте 13,5 км вблизи села Турьи Реметы (рис. 1-3). Начальная динамическая масса болида составляла 4300 кг, а конечная масса после потерь на абляцию составила 370 кг. Орбита оказалась типичной для болидов глубоко проникающих в атмосферу Земли. При поисках вещественных фрагментов метеороида, в том числе и возможного крупного метеоритного тела, проведенных в районе с. Турьи Реметы многочисленными экспедициями, были найдены лишь свежие блестящие магнитные шарики диаметром 0,1-1,5 мм. Цель нашего исследования – термодинамический анализ физико-химических процессов в веществе болида и выяснение его природы.

Результаты поисково-исследовательских работ

Болид «Турьи Реметы» наблюдался в обсерваториях Словакии со среднего расстояния 220 км [11]. Зафиксированная картина болида (рис. 1) составляла 35% от той, которая наблюдается под углом 90° к его траектории (рис. 2).



Рис. 1. Болид «Турьи Реметы» [11]. Длина траектории болида 106 км. Начало : высота (Н) = 81,4 км, скорость (v) = 18,5 км/с, плотность воздуха (ρ) = $0,01 \text{ г/м}^3$, масса (m) = 4300 кг. Максимум болида: Н = 30 км, $v = 14 \text{ км/с}$, $\rho = 16 \text{ г/м}^3$. Выклинивание: Н = 13,5 км, $v = 3,8 \text{ км/с}$, $\rho = 200 \text{ г/м}^3$.

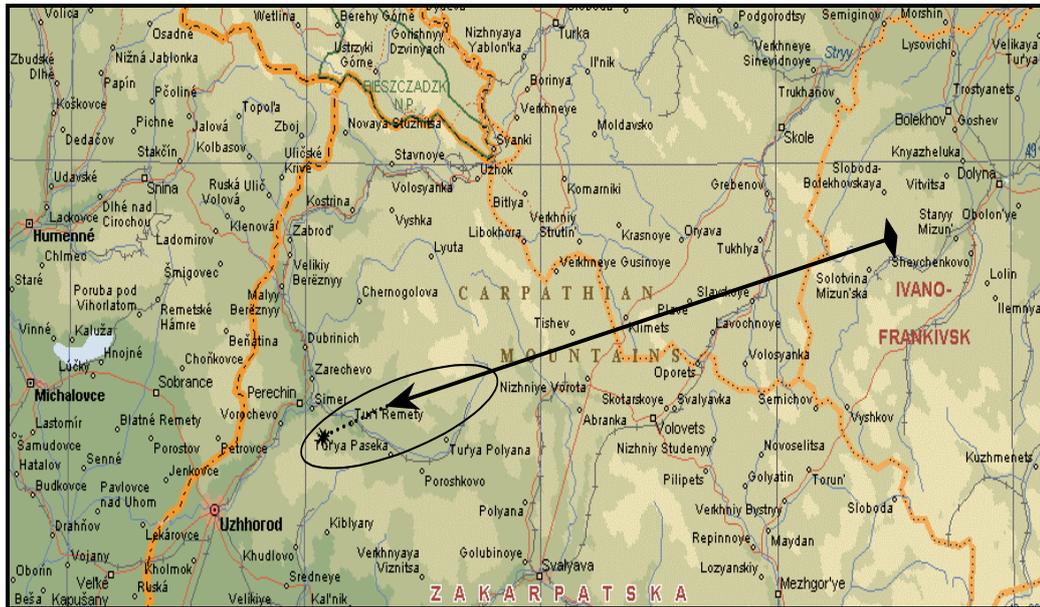


Рис. 2. Карта-схема и параметры траектории полета болида «Турья Реметы» [11].

Поперечник болида составляет в максимуме около 22 км, а с ореолом отдельных светящихся частиц – до 26 км (рис. 1). Уточнение места падения болида «Турья Реметы» или его частей, а также оценка его природы и состава вещества является задачами настоящего исследования.

Был также сделан расчет околосолнечной орбиты первичного тела болида (рис. 3). Она имеет форму эллипса с перигелием в 0,684 астрономических единиц (а.е.) или 103 млн. км и афелием в 1,969 а.е. или 295 млн. км; эксцентриситет орбиты равен 0,4844 [11]. Перигелий болида близок к орбите Венеры, а афелий несколько далее орбиты Марса. Такая орбита характерна для комет, в то время как пояс астероидов и метеоритов располагается между орбитами Марса и Юпитера.

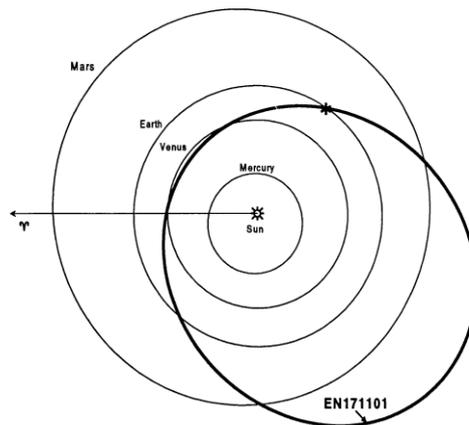
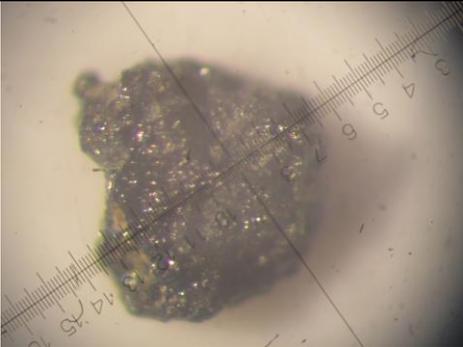


Рис. 3. Рассчитанная орбита болида EN171101 с местом встречи его с Землей [11].

В 2007-2012 г.г. были проведены поисковые геолого-шлиховальные и минералого-геохимические исследования в бассейне р. Турья. Присутствие базальтов и других

вулканитов, подібних хондритам, ускладняло ідентифікацію можливого космічного речовини боїда в досліджуваних земних пробах.

Одним из явных вещественных признаков боида «Турья Реметы» в грунтовых пробах являются магнитные микросферы, диаметром 0,1-1,5 мм, содержание которых прослежено по магнитным фракциям шлиховых проб и проб почв. Эти шарики имели разную степень изменения поверхности из-за вторичных процессов выветривания. Встречаются свежие и блестящие, и с наличием гидроокислов железа. Достаточно много свежих шариков сферической (реже эллиптической или каплевидной формы) обнаружено вдоль территории полета боида в бассейне реки Турья, от поселков Турья Реметы и Турицы до поселка Симер на западе и до поселков Турья Поляна, Полянская Гута, Туричка, Липовец – на востоке (рис. 4, 6, 7). Обычно в одной пробе встречаются шарики разных размеров, что позволяет предположить их медленное парашютирование в земной атмосфере в безветренную погоду после взрыва боида. Кроме того были найдены оплавленные обломки вюстита (FeO) (рис. 5) в районе п. Турья Реметы, которые весьма вероятно имеют космическое происхождение.

	
<p>Рис. 4. Магнитные шарики из шлиховых проб нижнего течения р. Турья (п. Турья Реметы – п. Симер) в пойме р. Уж (г. Перечин) - возможное вещество боида. Диаметр наибольшего шарика – 0,5 мм.</p>	<p>Рис. 5. Оплавленный обломок вюстита (FeO), (2 мм в диаметре).</p>

Проведение поисковых работ в 2007-2012 годах обусловлено тем, что прямые поиски метеоритов, связанных с боидом «Турья Реметы» разными экспедициями в месте падения, определенного расчетами словацких астрофизиков [11], не дали положительных результатов. Здесь может быть несколько причин неудачных поисков, среди которых наиболее вероятной является не каменная, а кометная ледяная природа вещества боида. Об этом также свидетельствует быстрое выгорание 9/10 массы вещества боида на значительной высоте в атмосфере, что нехарактерно для каменных или железных метеоритов.

Светящиеся крупные частицы или брызги вещества боида хорошо видны вокруг него, особенно в области его максимума на высоте около 30 км (рис. 1). Светящихся частиц очень много, их ореол почти равен телу боида, причем располагаются они и снизу, и сверху боида, что свидетельствует о взрывной и газовой их природе.

Из отобранных шлиховальных проб выделяется магнитная фракция, вещество которой изучалось спектральным, атомно-абсорбционным, рентгено-спектральным и другими методами аналитических исследований. По результатам спектрального анализа многие шлихи заражены никелем (до 200-500 г/т), хромом (до 500-800 г/т), кобальтом (до 100-200 г/т), что характерно для космического вещества [1-4, 6, 7, 9, 11]. Попутно в

некоторых шлихах часто встречается повышенное содержание олова (до 400-600 г/т), реже свинца (до 300-500 г/т), цинка (до 800 г/т).

Магнитные шарики отмечаются практически по всей территории, чаще всего они мелкие – 0,1 - 0,3 мм до 1,0-2,0 мм в поперечнике (рис. 4, 6, 7). С востока на запад по следу полета болида размеры шариков уменьшаются. Это не случайно, а связано с тем, что максимум болида находится примерно над заповедником Шипот в 15-20 км от места выклинивания болида, которое произошло над г. Осуй. И самые крупные магнитные шарики обнаружены в р. Шипот, в 15 км восточнее г. Осуй (рис. 2).



Рис. 6. Шарик в магнитной фракции шлиха по р. Туриця, п. Туричка. Диаметр шарика 0,9 мм.

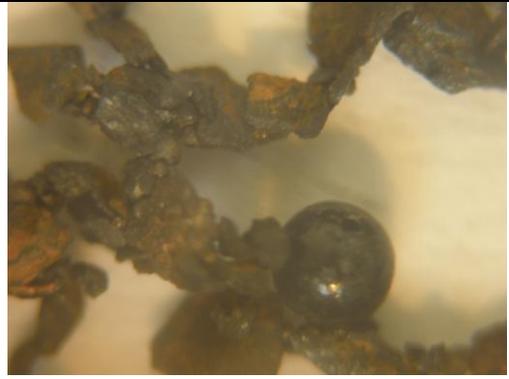


Рис. 7. Шарик в магнитной фракции шлиха из р. Туриця, п. Туричка. Диаметр шарика 1,0мм

Химический и минеральный состав болидных шариков

Рентгено-спектральный микроанализ (РСМА) магнитных болидных шариков проведен научными сотрудниками Института геологических наук НАН Украины Шехуновой С.Б. и Пермяковым В.В. на микроскопе Jeol JSM-6490LV с EDS Oxford.

Большая часть проанализированных болидных магнитных шариков из шлихов и почвенных проб бассейна р. Турья имеют состав, близкий к FeO (рис. 8-11), такой же, как у оплавленного обломка вюститита (рис. 5). В то же время известно, что в системе Fe-O устойчив вюстит (Fe_{0,95}O) и расплав состава FeO при температуре большей 1500°C распадается на две несмешивающиеся жидкости. При более низкой температуре (вплоть до температуры кристаллизации около 1300°C) он состоит из расплавов вюститового состава и 5% металлического железа с образованием сложных структур срастания минералов (рис. 8, a,b; рис. 9).

Некоторые шарики содержат примесь шпинели и железистого оливина, причем примеси Al, Mg, Cr, Ca, Ti, Ni, C (рис. 8, E-F; рис. 10) увеличивают температуру образования расплава, а Si, Na, K, S – уменьшают ее (рис. 8; 9, 11). Магнетит отсутствует. Полости внутри шариков, вероятно, образованы при их кристаллизации из-за уменьшения объема при реакции расплав→кристаллы и при газовой выделении. Исследованные магнитные шарики близки по составу к нижней мантии Земли. Принадлежность найденных магнитных шариков к космическому веществу обоснована аналитически.

Физические параметры болида

Рассмотрены соотношения физических параметров в процессе движения болида: масса метеороида, скорость, высота, путь болида, плотность атмосферы, вязкость воздуха, свечение болида, распад при абляции метеороида на малые тела и частицы, их размер.

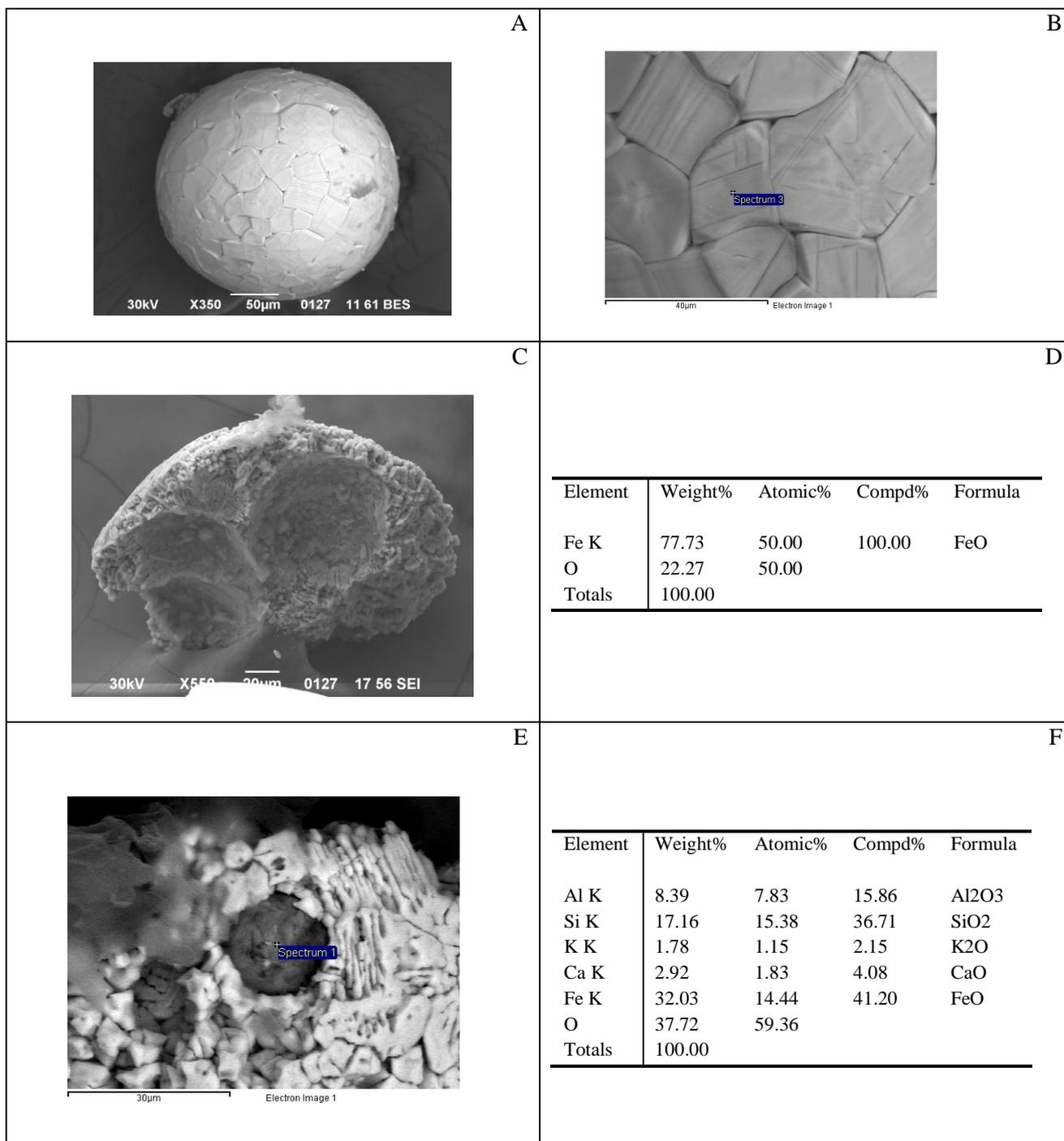
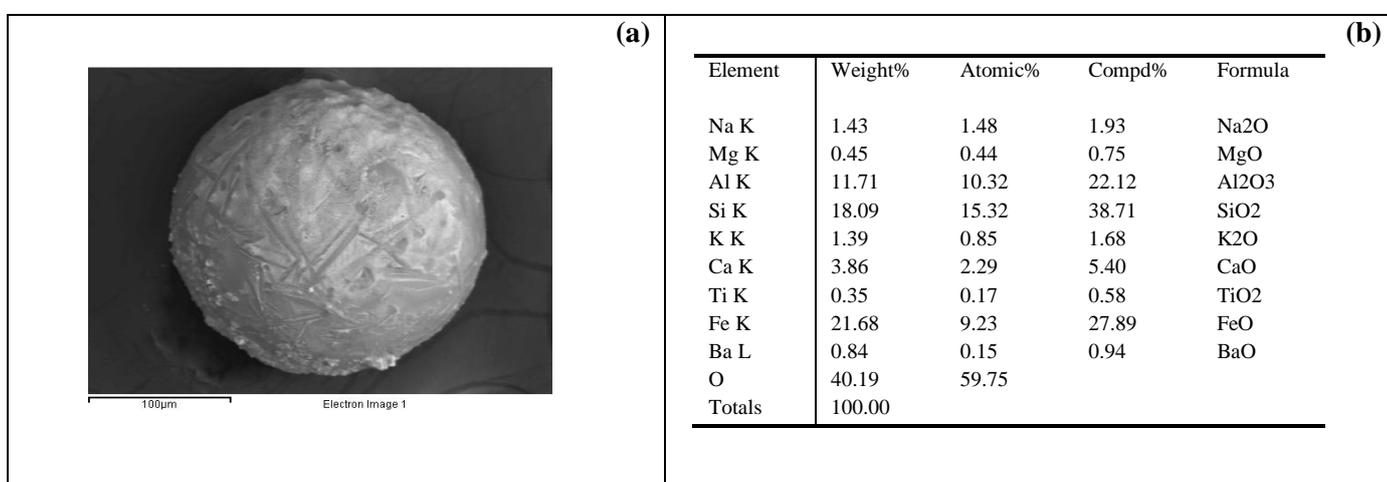
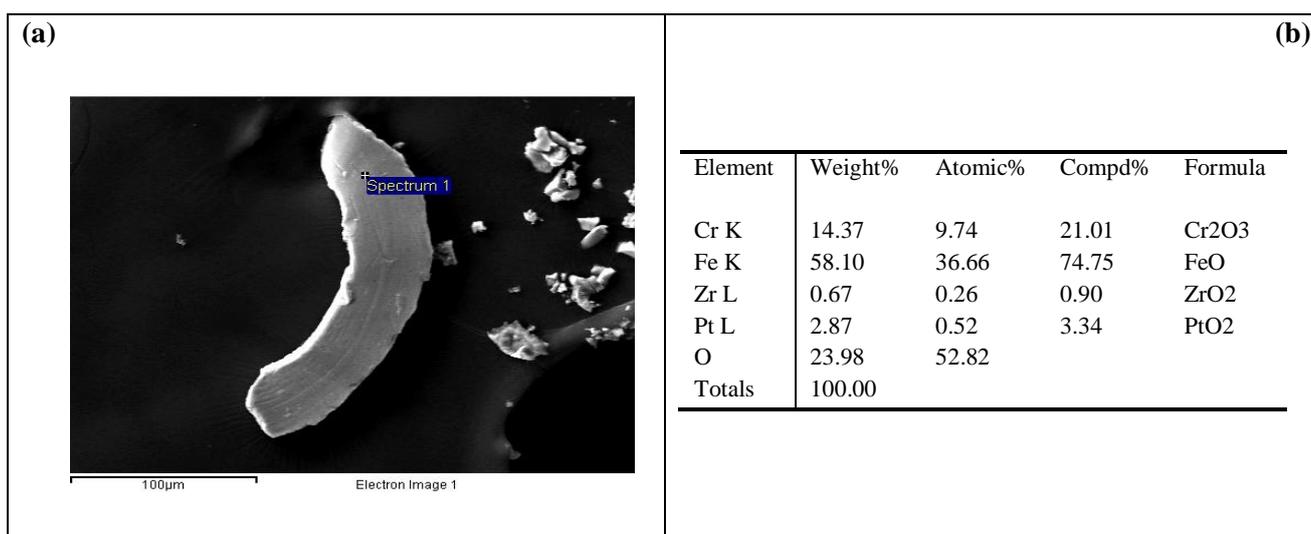
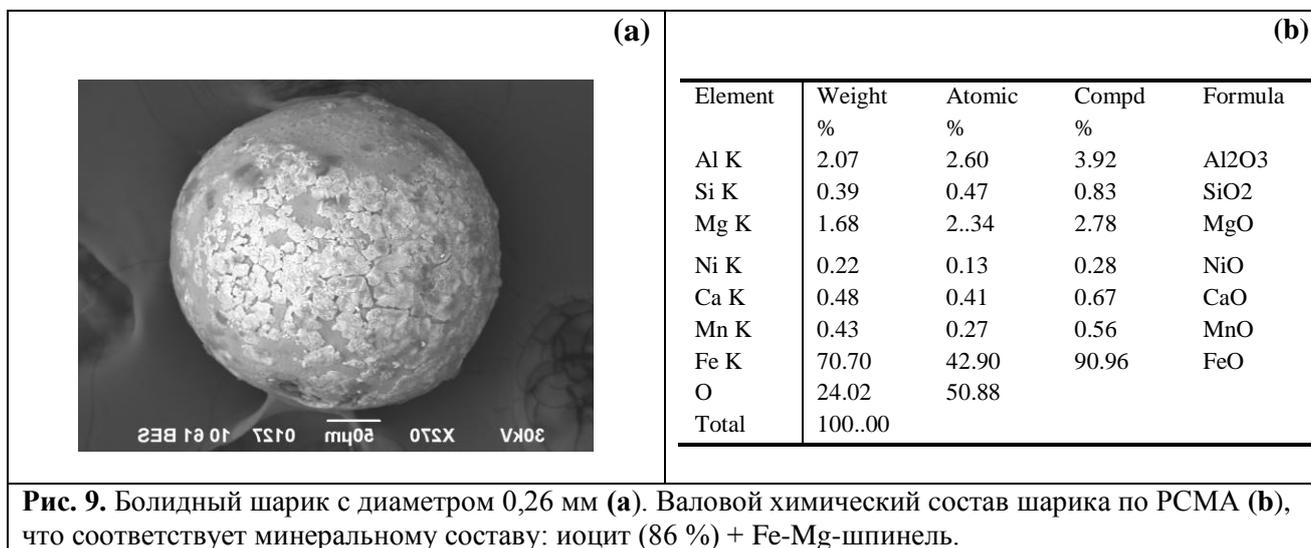


Рис. 8. Болидний шарик с диаметром 0,3 мм – (A); его поверхность– (B); округлые полости внутри разбитого шарика– (C); химический состав его вещества по РСМА, соответствующий вюстититу с вростками металлического железа – (D); включения с диаметром 10-20 µм– (E); химический состав включения, соответствующий фаялит-герцинитовому парагенезису– (F).

Оценена энергетика болида – кинетическая энергия, сила движения и падения тел, сопротивление атмосферы, скорости и пути движения, возможные места падения малых тел, а также P-T условия и термодинамические параметры реакций породообразования, плавления и газообразования.

Ниже приведены результаты расчетов некоторых физических параметров болида «Турьи Реметы».



Можно приближенно рассчитать скорость и массу метеороида при его движении, исходя из данных конечных величин этих параметров для болида (табл. 1), используя формулу для кинетической энергии механической системы (в Дж),

$$E_k = \frac{1}{2} mV^2, \quad (1)$$

а также формулу Стокса для определения силы сопротивления среды (жидкости или газа) движению шара, (в н - ньютонах):

$$F_c = 6\pi \eta VR, \quad (2)$$

где η – динамическая вязкость, пз; R – радиус шара, м [9].

Масса в механической системе прямо пропорциональна квадрату скорости (1), а сила сопротивления при вхождении тела болида во все более плотные слои атмосферы (F_c) определяется по уменьшению E_k (табл.1). Исходными параметрами болида являются: высота (Н), путь болида – $L=106,43$ км, продолжительность полета – $t = 6,87$ с, средняя скорость – $V=15,5$ км/с. Зависимость между основными физическими параметрами болида отражена в табл. 1. Максимальная потеря массы – 2400 кг (60% его массы) происходит в максимуме болида. Об этом можно судить как по уменьшению кинетической энергии болида на $5 \cdot 10^{11}$ Дж (2/3 всей кинетической энергии), так и по преобладающему объему свечения болида – более 60% его припадает на область максимума (табл. 1).

Все предыдущие исследования болида «Турьи Реметы» в Закарпатье исходили из представлений о метеоритной природе этого болида. Однако, как оказалось, этому противоречат такие данные.

Таблица 1. Физические параметры болида «Турьи Реметы»

№ точ ки	Описание Болида	Высота, Н, км	Траектория, S, км	След на территории, L, км	Скорость, V, км/с	Масса, m, кг	Кинетическая энергия, E_k , Дж	Сила сопротивления среды, F_c , Н	Плотность воздуха ρ , г/м ³
1	Начало	81,4	0	0	18,5	4300	$7,4 \cdot 10^{11}$	10^5	0,01
2	Начало расширения	44	56	40	17,5	3800	$5,8 \cdot 10^{11}$	$4,5 \cdot 10^6$	2
3	Максимум	31	77	56	14,0	2500	$2,5 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^7$	16
4	Начало сужения	21	92	70	10,0	1400	$7 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^7$	90
5	Выклинивание	13,5	106	81	3,8	400	$3 \cdot 10^9$	$4,5 \cdot 10^6$	270

1. Большинство достаточно крупных каменных или железных метеоритов (исходная масса болида около 4500 кг) лишь несколько увеличивают светящийся след и мало меняют скорость движения по мере падения во все более плотные слои атмосферы, а при достижении земной поверхности образуют достаточно заметный кратер. А болид «Турьи Реметы» наблюдался как метеор с огромным светящимся следом, который расширялся по мере вхождения во все более плотные слои атмосферы, достигнув в максимуме более 20 км в поперечнике, а затем он резко выклинился на высоте 13,5 км. При этом скорость и масса болида уменьшились в 10 раз. Такой след космического тела в атмосфере не характерен для метеорита, но типичен для метеора [6, 10, 11].

2. Тщательные поиски метеоритного кратера не дали результата. По предварительным результатам исследования многие шлихи заражены никелем (до 200-500 г/т), хромом (до 500-800 г/т), кобальтом (до 100-200 г/т), что характерно для метеоритов [7,8,10], т.е. относятся к космическому веществу.

3. Магнитные шарики из шлихов имеют состав, близкий к FeO и отмечаются практически по всей территории, чаще всего мелкие – 0,1-0,5 мм в поперечнике и некоторые – до 1,0-2,0

мм. С запада на восток по следу болида в сторону максимума, навстречу направлению полета, размеры шариков увеличиваются.

Минеральный состав изученных образцов частиц болида может быть описан системой оксидов: $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-CaO}$. CaO представляет анортит (15-40%), а систему $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}$ — парагенезис Тр-Грц и Тр-Кор (первый и третий виды силикатных частиц болида) или парагенезис Фа-Вюс-Грц (второй вид железистых частиц болида) (рис. 12). Преобладают богатые железом частицы (см. рис. 8-11). Основа по [6].

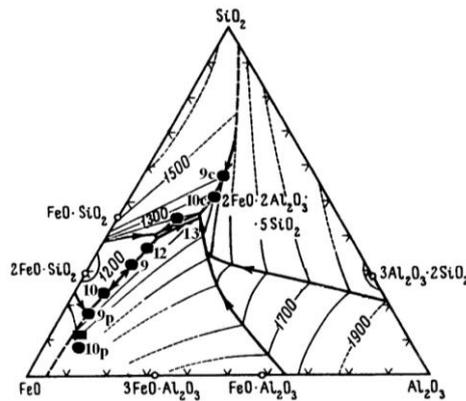


Рис. 12. Диаграмма $\text{SiO}_2\text{-FeO-Al}_2\text{O}_3$ для частиц болида.

О природе болида «Турьи Реметы»

Если исходить из метеоритной природы болида, то надо учитывать физико-химические условия процессов плавления и кипения вещества болида. Средний состав железо-силикатного вещества шариков болида отвечает парагенезису вюстит-фаялит-анортит-герцинит-шпинель (рис. 12). Температура плавления этого вещества составляет $1200\text{-}1400^\circ\text{C}$, а температура его кипения — около 3000°C , с весьма большой энтальпией кипения — более 400 кДж/моль. Поскольку длительность существования болида не превышала нескольких секунд, то для метеорита вюститового или хондритового состава достижение температуры его кипения маловероятно.

Радиус тела болида можно определить по формуле Стокса для сопротивления среды (жидкости или газа) движению шара (в н — в ньютонах) по формуле (2). Если тело метеорита весом 4500 кг было представлено хондритом с удельным весом около 3 г/см³, то его объем составит $1,5$ м³, а радиус — $0,7$ м. В начале болида, на высоте 81 км, $F_c = 5 \cdot 10^4$ н (м·кг·сек⁻²) (табл. 1), динамическая вязкость газа — $\eta = 0,0018$ м⁻¹·кг·сек⁻¹. Если $V = 18500$ м·сек⁻¹ то согласно формуле (2) R составит около 80 м, что близко к реалиям, но в 100 раз больше, чем при метеоритной природе вещества болида. Вещество хондритов может перейти в пар при температуре более 3000°C , но за несколько секунд полета болида в пар может перейти лишь незначительная верхняя оболочка тела метеорита. Поэтому вполне обоснован вывод о том, что вещество болида было представлено газом с температурой не менее 2000°C .

Болид появился на высоте 81 км при плотности воздуха атмосферы $0,01$ г/м³ и скорости $18,5$ км/с. След болида ярко-белый и почти сразу появились ярко святящиеся выбросы — шарообразные тела диаметром в несколько сотен метров (рис. 1).

Причем, от расширяющегося следа (хвоста болида) в интервале высоты $81\text{-}44$ км они падают вниз, а в пределах максимума болида (высота $40\text{-}20$ км с плотностью воздуха от 3 до

90 г/м³) они падают вниз и поднимаются вверх. Это скорее результаты взрывов газа при резком увеличении объема светящегося следа болида при увеличивающейся температуре и плотности атмосферы (рис. 1; табл. 1). Т. е. в болиде светился газ при высокой температуре. Наиболее вероятна кометная природа болида с водно-ледяным ядром, поскольку водный лед является самым распространенным твердым минералом при низких температурах открытого космоса [3, 4, 6, 10].

Сделан расчет состава и температуры газа в максимуме болида. Его масса после потери в хвосте болида была около 2500 кг, что соответствует $1,5 \cdot 10^5$ молей воды, в случае кометной природы болида. В кометном льде как в кристаллогидрате [5] содержится до 5% CO₂, азота, метана, оксида серы и 1-2% тяжелых элементов — магния, силиция, кальция, железа; десятые доли процента хрома, никеля, титана — как в звездной материи [3,6]. Вероятнее всего в кометном веществе содержится 5% газов и 1-2% солей.

Отсюда можно предположить, что светящиеся частицы хвоста болида, которые падают вниз, состоят из тяжелых элементов: тяжелых газов и расплавленных минеральных веществ — оксидов (вюстита), силикатов и алюмосиликатов железа и магния (рис. 8-11), которые при охлаждении превращаются в магнитные шарики.

Светящиеся частицы в максимуме болида, падающие вниз, имеют ту же природу, что и в хвосте болида, а светящиеся частицы, поднимающиеся вверх, скорее всего, состоят из легких газов (прежде всего из водорода). Эти легкие газы, вероятно, являются продуктами газовой плазмы при разложении водного газа на O₂, H₂, OH, O и H при температуре более 4000К.

Теплоемкость таких газов составляет 30-40 Дж/К·моль, а энтальпийные эффекты ΔH при реакциях их образования — 1) H₂O=H₂+0,5O₂; 2) H₂O = OH+H; 3) O₂=2O; 4) H₂=2H; 5) OH = H +O (рис. 15) — составляют около -200 кДж/моль для каждой из этих пяти реакций. При общей кинетической энергии болида 10¹² Дж (табл. 1) при температуре более 4000°С энергия будет затрачена на прохождение этих плазменных реакций, а также на нагрев газа до температур порядка 10000К (табл. 1, 2; рис. 13, 14).

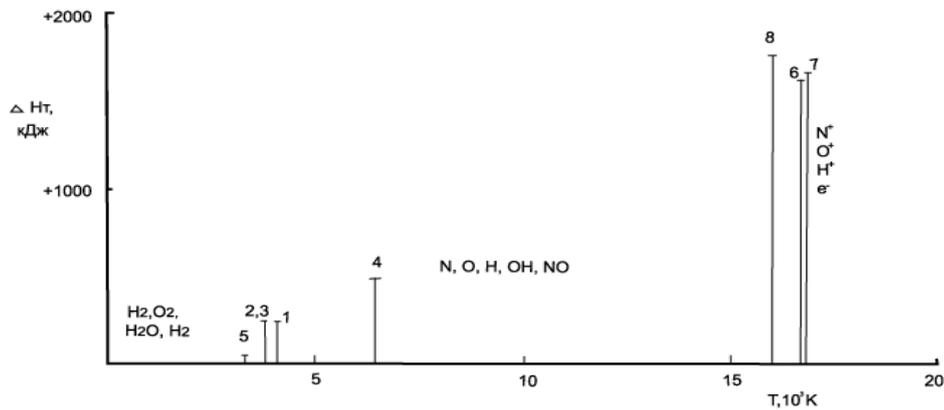


Рис. 13. Энтальпийные эффекты реакций в газах воздуха с ростом температуры (в тысячах градусов): 1) H₂O=H₂+0,5O₂; 2) O₂=2O; 3) H₂=2H; 4) N₂=2N; 5) 0,5O₂ + 0,5H₂=OH и 0,5N₂+0,5O₂=NO; 6) O=O⁺ +e⁻; 7) H=H⁺+e⁻; 8) N=N⁺ + e⁻.

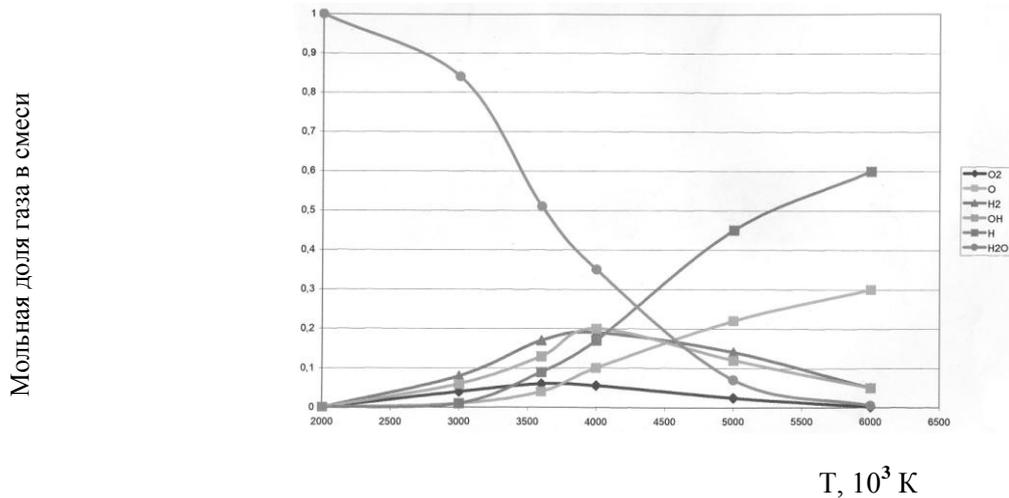


Рис. 14. Изменение состава водной газовой плазмы от температуры.

Перед началом светимости болида «Турьи Реметы» его еще холодное тело вращалось вокруг Солнца по орбите, подобной кометной – рис. 3 [1]. Оно двигалось по эллиптической орбите в перигелии (близко к орбите Венеры): $P=0,684$ А.Е. со скоростью $V_p = 33,5$ км/сек. В афелии (несколько далее орбиты Марса): $A=1,97$ А.Е., и $V_a = 14,46$ км/сек, эксцентриситет $e=0,4844$. Тело «Турьи Реметы» пересеклось с орбитой Земли и вошло в ее атмосферу между перигелием и афелием под углом в 43° к поверхности Земли. Примерные оценки параметров движения этого тела по отношению к Земле на высоте 200 км следующие: скорость около 22 км/сек, масса около 5000 кг. По этим данным болид «Турьи Реметы» до встречи с Землей, скорее всего, представлял собой микрокometу среднего возраста с довольно значительной массой тяжелых элементов.

Анализ физико-химических параметров эволюции болида

Проанализированы изменения параметров болида, таких как высота (H), кинетическая энергия (E), сила сопротивления (F_c), скорость (V), масса (m), сечение (S), объем (Y), давление (P), температура (T), траектория (L), угол к поверхности Земли, плотность атмосферного воздуха и газа в болиде, которые связаны следующими формулами (табл. 2): $E = mV^2$, $m^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-2}$; $F_c = E/L = m \cdot a = P \cdot S$, $n = m \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-2}$; $P = F_c/S = E/Y = RT/Y$, $m \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-2}$; $Y = RT/P$, м^3 , и другими соотношениями (рис. 15, 16).

Доболлидные физико-химические процессы начинаются при вхождении кометы «Турьи Реметы» в атмосферу Земли еще до появления свечения, т.е. до начала болида. Можно предположить на высоте 200 км начальную массу тела кометы около 5000 кг, его скорость около 22 км/сек. Первоначально температура была низкой, но с появлением свечения болида на высоте 81,4 км (табл. 2) она постепенно увеличивалась до 2000К.

Изменение основных параметров болида при его эволюции представлено в табл. 2; рис. 15, 16. Скорость, масса и кинетическая энергия болида постоянно уменьшаются. Сила сопротивления, сечение, объем и температура увеличиваются от начала болида до его максимума, а затем резко падают. Наиболее сложное изменение давления газа в болиде при его эволюции. Эти процессы связаны с вхождением болида во все более плотные слои атмосферы Земли, где увеличиваются сопротивление движению болида, сечение болида и

его объем. При этом происходит уменьшение массы болида, что предопределяет его выклинивание и погасание.

Таблица 2. Физико-химические параметры болида «Турьи Реметы»

Описание болида						
	Вхождение кометы в атмосферу	Начало болида	Начало расширения (хвост болида)	Максимум	Начало сужения	Выклинивание
Высота Н, км,	200	81,4	44	31	21	13,5
угол к поверхности Земли	43 ⁰	40 ⁰	37 ⁰	36 ⁰	35 ⁰	32 ⁰
Траектория болида, L, км,	0	0	56	77	92	106
сечение S, м ²	5	3·10 ⁴	5·10 ⁷	5·10 ⁸	2·10 ⁸	0
P, давление газа в болиде, м ⁻¹ ·кг·сек ⁻²	0	0	0,1	0,02	0,05	0
P атм. кг/см ²	10 ⁻¹⁰	0,00005	0,0036	0,024	0,08	0,1
Скорость, V, км/с	22,0	18,5	17,5	14,0	10,0	3,8
Масса, M, кг	5000	4300	3800	2500	1400	400
Кинетическая энергия E _к Дж, м ² ·кг·сек ⁻²	2·10 ¹²	7,4·10 ¹¹	5,8·10 ¹¹	2,5·10 ¹¹	7·10 ¹⁰	3·10 ⁹
Сила сопротивления среды, F _с , н, м·кг·сек ⁻²	5·10 ⁴	10 ⁶	4,5·10 ⁶	1,6·10 ⁷	1,1·10 ⁷	4,5·10 ⁶
Плотность воздуха φ, г/м ³	10 ⁻⁷	0,01	2	16	90	270
Y _б объем болида, м ³		10 ⁶	7·10 ¹¹	7·10 ¹²	10 ¹²	
Y _м объем моля, м ³			3·10 ⁵	7·10 ⁶	10 ⁶	
Температура болида, К		2000	4000	10000	6000	2000

Эти оценки параметров болида исходили из равновесия физико-химических процессов в болиде и являются суммарными и приближенными, поскольку на самом деле эти процессы неравновесны и имели **взрывной характер**, т.е. они быстро изменялись в пространстве и времени, поскольку весь процесс эволюции болида протекал всего за 7 секунд. За это время болид пролетает расстояние 106 км, внедряясь во все более плотные слои земной атмосферы (с высоты 81,4 км со скоростью 18,5 км/сек), образуя светящееся тело болида (табл. 1, 2; рис. 1). Радиус его (R) увеличивается от начала болида и в максимуме составляет 13 км на высоте 30 км. Затем, из-за все увеличивающегося сопротивления среды, он быстро сужается и выклинивается на высоте 13,5 км при скорости всего 3,8 км/сек. Вхождение в плотные слои атмосферы резко тормозит болид и вызывает его расширение с увеличением объема, давления и температуры. Выделенный высокотемпературный газ из тела болида вытесняет воздух атмосферы и после 7 секунд полета болид тухнет и исчезает.

Кинетику болида можно примерно оценить, исходя из алгебраического уравнения [8] $[A] = [A]_0 e^{-kt}$, где $[A]$ и $[A]_0$ – начальное и конечное значение концентрации вещества и изменение его количества или объема, t – промежуток времени, k – константа скорости процесса. Объем болида увеличился в течение 5 секунд в 10^7 раз, а $k = 3,2$. Эти результаты указывают на огромную взрывную скорость формирования болида, объем которого увеличивался каждую секунду в 25 раз.

Формирование болида можно охарактеризовать как газовый взрыв, когда при нагревании ледяного кометного ядра из него быстро выделяется значительный объем высокотемпературной газовой плазмы ($T=2000-10000K$) с соответствующим увеличением газового давления. Это явление подобно образованию газовой плазмы в канале молнии, давление которой изменяется в логарифмическом масштабе относительно температуры и времени процесса [1].

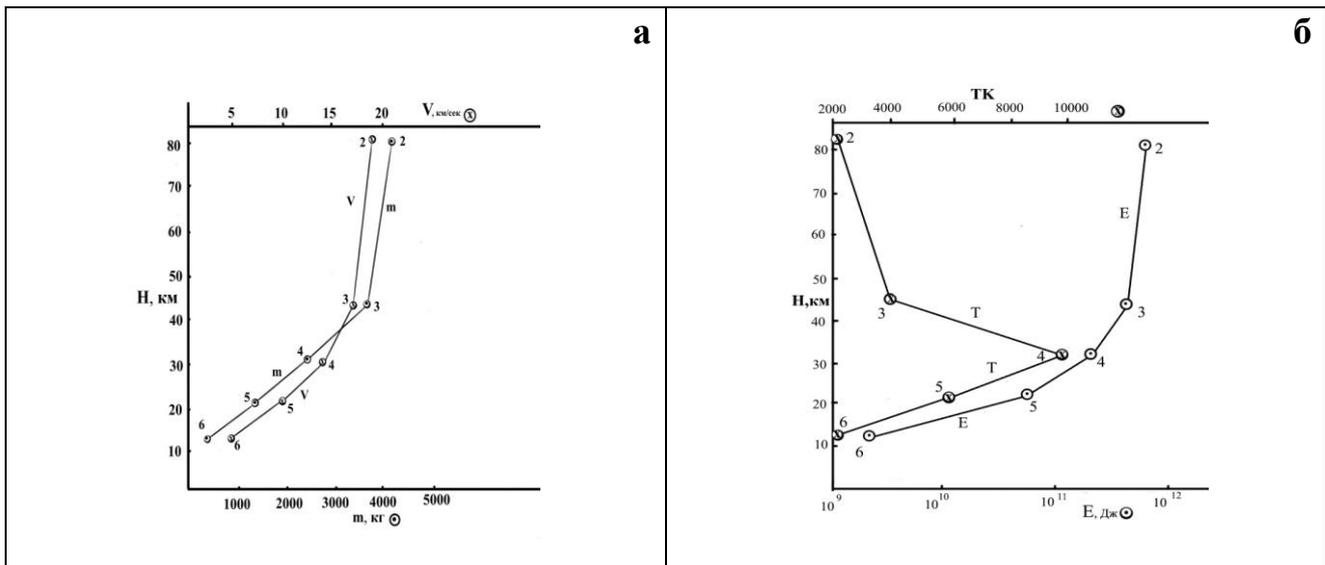


Рис. 15. Графики зависимости: **а** – массы (**m**) и скорости (**V**) болида; **б** – кинетической энергии (**E**) и температуры (**T**) болида от его высоты (**H**) по данным табл. 2.

Правда в молнии он длится всего несколько миллисекунд. Давление и температура уменьшаются от центра к краям болида. Это также объясняет появление светящихся частиц

вокруг болида, диаметром до километра, которые вылетают из него по градиенту давления, стремящегося к выравниванию.

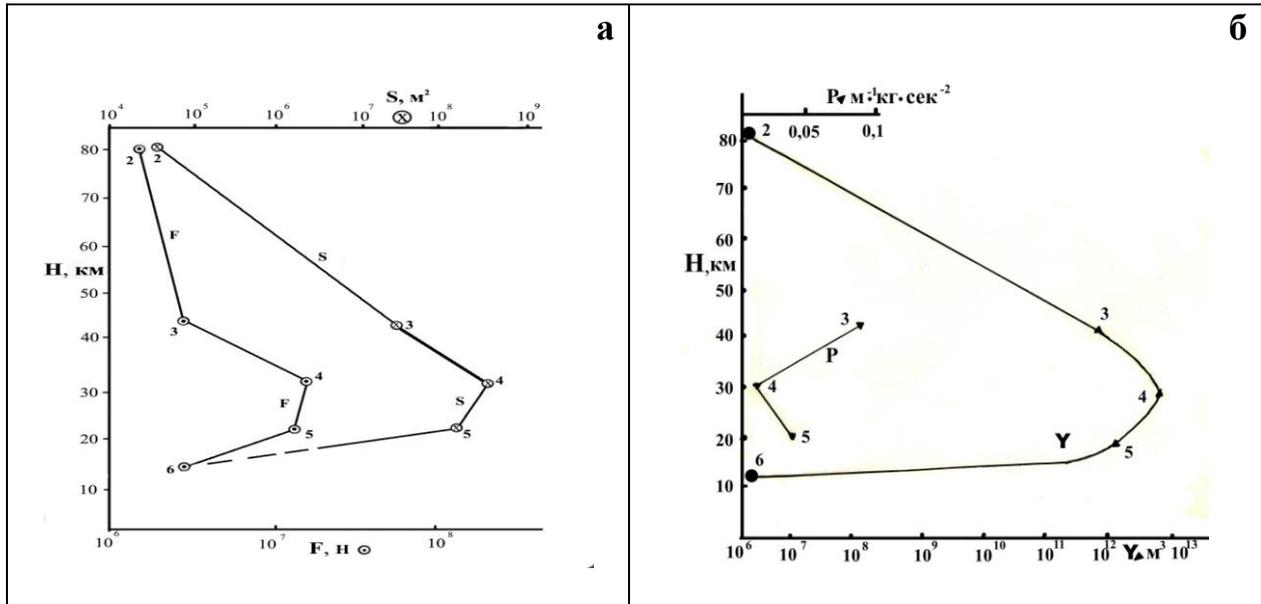


Рис. 16. Графики зависимости: **а** – силы сопротивления среды (**F**) и сечения болида (**S**); **б** – объема (**Y**) и давления болида (**P**) от его высоты (**H**) по данным табл. 2.

После расхода исходного водного вещества болид выклинивается и тухнет. Хотя после погасания болида остается еще 400 кг вещества, вероятно представленным минеральным веществом, которое выпадает преимущественно в виде мелких магнитных железистых шариков, достаточно широко распространенных по всему следу болида.

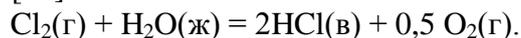
Можно также рассчитать примерные параметры взрывного процесса образования болида. Начальная масса болида 4300 кг, его общий объем $8 \cdot 10^{12}$ м³, хотя объем исходного ледяного ядра микрокометы не более 10 м³. Средняя плотность воздуха атмосферы, вытесненного болидом около 10 г/м³ или 0.01 кг/м³. Масса этого воздуха $8 \cdot 10^{10}$ кг, которая в $2 \cdot 10^7$ раз больше массы болида, т.е. плотность его высокотемпературной газовой плазмы должна быть соответственно, во столько же раз меньше плотности вытесненного болидом воздуха атмосферы. Отсюда средняя плотность высокотемпературной газовой плазмы болида составляет около 10^{-6} г/м³ или 10^{-15} кг/м³.

Отдельной проблемой является выяснение первичного источника вещества комет [4], который связан с эволюцией вещества солнечных протуберанцев. В них происходит охлаждение солнечной рассеянной газовой плазмы с удалением легких газов (водорода, гелия) и концентрация тяжелых газов в центре протуберанца с его уплотнением в результате диффузии. Коэффициент диффузии (D) особенно значителен для водорода как самого легкого газа в солнечной материи: для протия – $D_H^2 = 0,70$ см²/сек, и дейтерия – $D_D^2 = 0,30$ см²/сек при нормальных условиях, т.е. содержание дейтерия в протуберанце увеличивается по сравнению с протием.

А скорость диффузии по формуле $X^2 = 6Dt$ составляет при высоких температурах и низких давлениях десятки метров в секунду [8]. Кроме того в водном газе хвоста комет, с повышением температуры в перигелии, происходит фракционирование изотопов водорода и кислорода с удалением части легких изотопов и обогащением остаточного льда комет тяжелыми изотопами. Этим можно объяснить обогащение кометной воды дейтерием, которое по сравнению с океанической водой Земли отличается более, чем в 2-3 раза.

Эволюция кометного протуберанца, начальной толщиной в несколько тысяч километров (до 1-5 % диаметра Солнца), состоит в рассеянии до 99% своей массы (в основном это H и He), уменьшаясь до толщины в несколько десятков километров. При охлаждении протуберанца образуется преимущественно вода, несколько обогащенная дейтерием в виде твердых гидратов – водяного льда с включениями газов и кристаллов – оксидов, силикатов, карбонатов, сульфатов тяжелых элементов – O, C, Mg, Fe, Si, S, Ca, Ni и др. Таким образом, формируются ледяные ядра комет, возможно с гелием.

В кометах обнаружен свободный кислород, который, вероятно, образуется по реакции между жидкой водой и газообразным хлором при повышении температуры в перигелии комет. При температуре ниже критической для воды (374°C) равновесие реакции жидкой воды с хлором идет вправо [12]:



Свободная энергия этой реакции составляет для разных температур: $\Delta G_{298} = -25,5$ кДж/моль, а $\Delta G_{647} = -1,8$ кДж/моль. Реакции образования свободного кислорода способствуют уменьшение температуры, восстановленности и кислотности водного раствора. При этом HCl(в) растворяется в воде, разделяясь на ионы Cl⁻(в) и H⁺(в), образуя кислый водный раствор соляной кислоты.

Эволюция комет заключается также и в том, что их орбита переходит от первичной круговой к эллиптической, что выражается в достаточно быстром увеличении эксцентриситета кометы от нуля до единицы, после чего ее орбита становится гиперболической и комета совсем уходит из Солнечной системы. Это свидетельствует о генетической связи комет с Солнцем и солнечными протуберанцами. Таким образом, термодинамическая эволюция комет является самопроизвольным и необратимым процессом с уменьшением их внутренней энергии и увеличением энтропии системы вплоть до рассеяния вещества комет и достижения состояния равновесия.

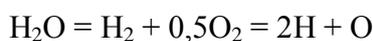
Выводы

1. Болид «Турьи Реметы» имел не метеоритную, а метеорную природу и при относительно небольшой начальной массе (4300 кг) занимал огромный объем (около 10^{12} м³) светящегося метеора, что возможно лишь при высокотемпературном газовом состоянии его вещества. Этот вывод подтверждает отсутствие метеоритного кратера и наличие многочисленных свежих железистых фаялит-вюститовых космических шариков, (размером от 0,1 до 2,0 мм), прослеженных по следу болида.

2. Перед началом светимости болида «Турьи Реметы» его первичное, еще холодное и твердое, тело вращалось вокруг Солнца по эллиптической орбите, подобно кометной, в перигелии близко к орбите Венеры со скоростью $V_p = 33,5$ км/сек, в афелии несколько далее орбиты Марса со скоростью $V_a = 14,46$ км/сек, эксцентриситетом $e=0,4844$. Следуя этим данным, болид «Турьи Реметы» до встречи с Землей скорее всего представлял собой микрокромету.

3. Процесс эволюции болида протекал всего 7 секунд. За это время болид пролетел расстояние 106 км, внедряясь во все более плотные слои земной атмосферы с высоты 81,4 км со скоростью 18,5 км/сек, образуя светящееся тело, радиус (R) которого увеличивался от начала болида и в максимуме составлял 13 км на высоте 30 км. Затем, из-за все увеличивающегося сопротивления среды, он быстро сужался и выклинивался на высоте 13,5 км при скорости всего 3,8 км/сек. Изменение основных параметров болида при его эволюции такие. Скорость, масса и кинетическая энергия болида постоянно уменьшаются. Сила сопротивления, сечение, объем и температура увеличиваются от начала болида до его максимума, а затем резко падают. Наиболее сложно происходит изменение давления газа в болиде при его эволюции. Эти процессы связаны с вхождением болида во все более плотные слои атмосферы Земли, где увеличиваются сопротивление движению болида, сечение болида и его объем. При этом происходит уменьшение массы болида в 10 раз, что предопределяет его выклинивание и погасание. Эти изменения параметров болида имели взрывной характер, поскольку весь процесс эволюции болида протекал всего 7 секунд.

4. Средняя плотность атмосферного воздуха, вытесненного болидом, составляет около 0.01 кг/м^3 , а плотность высокотемпературной газовой плазмы болида в 10^7 раз меньше. То есть формирование болида можно охарактеризовать как газовый взрыв, при котором при нагревании ледяного кометного ядра из него быстро выделяется значительный объем высокотемпературной газовой плазмы с $T=2000-10000\text{K}$ и соответствующим увеличением газового давления. Это явление подобно взрыву или образованию газовой плазмы в канале молнии, давление которой изменяется в логарифмическом масштабе относительно температуры и времени процесса. Температура этой плазмы рассчитывается из мольной энтальпии реакций разложения водного газа до одноатомных газов, которая составляет около 200 кДж/моль :



Кинетической энергии болида может хватить для нагрева газовой водной плазмы до температур $4000-10000 \text{ K}$.

5. Кинетику болида можно оценить, исходя из алгебраического уравнения, где связываются скорость изменения его объема с константой скорости $k = 3,2$. Эта величина соответствует взрывной скорости формирования болида, объем которого увеличивается каждую секунду в 25 раз.

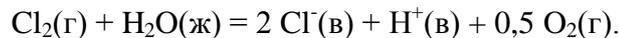
6. Превращение вещества болида «Турьи Реметы» из твердого состояния в газ возможно лишь при его водной природе, когда тело болида при низких температурах космоса имеет ледяное ядро, подобно комете, поскольку водный лед является самым распространенным твердым минералом в космосе при низких температурах. А при высоких температурах образуется водный газ, который занимает большой объем и светится в болиде. Таким образом, этот болид имел кометную природу и был микрокометой, что, в частности, подтверждается наличием эллиптической околосолнечной орбиты этой кометы с перигелием близким к орбите Венеры. Как известно, что кометный лед как клатрат содержит включения других газов и около одного процента силикатно-оксидных железистых минералов. Происхождение этого кометного вещества, вероятно, связано с образованием околосолнечных протуберанцев [4]. Такие болиды вместе с метеорами и кометами поставляют на Землю из космоса до 1 млрд. т вещества в год, в котором преобладает вода. Часть этой воды используется для образования облаков на больших высотах в атмосфере Земли, а большая часть кометной воды вместе с железистыми космическими шариками выпадает на земную поверхность, существенно пополняя гидросферу Земли. В космоэкологии изучение таких явлений имеет актуальное значение.

7. Отдельной проблемой является выяснение природы первичного источника вещества комет, который связан с эволюцией вещества солнечных протуберанцев. В них

происходит охлаждение солнечной рассеянной газовой плазмы с удалением легких газов (водорода, гелия) и, в результате диффузии, концентрация тяжелых газов в центре протуберанца с его уплотнением. Коэффициент диффузии (D) особенно значителен для водорода, как самого легкого газа в солнечной материи: для протия $D_{H_2} = 0,70$ и для дейтерия $D_{D_2} = 0,30$ см²/сек при нормальных условиях. Кроме того, в перигелии комет с повышением температуры в водном газе их хвоста происходит фракционирование изотопов с удалением части легких изотопов и обогащением остаточного льда комет дейтерием, которого в кометной воде, по сравнению с океанической водой Земли, больше в 2-3 раза.

8. Эволюция кометного протуберанца, начальной толщиной в несколько тысяч километров (до 1-5 % диаметра Солнца) состоит в рассеянии до 99% своей массы (в основном H и He), уменьшаясь до толщины в несколько десятков километров. При охлаждении протуберанца образуется преимущественно вода, несколько обогащенная дейтерием в виде твердых гидратов водяного льда с включениями газов и кристаллов – оксидов, силикатов, карбонатов, сульфатов тяжелых элементов C, O, Mg, Fe, Si, S, Ca, Ni и других. Таким образом формируются ледяные ядра комет, возможно с гелием.

9. В кометах обнаружен свободный кислород, который образуется по реакции между жидкой водой и газообразным хлором при повышении температуры в перигелии комет. При температуре ниже критической для воды (374°C) равновесие реакции жидкой воды с хлором идет вправо:



Этой реакции образования свободного кислорода способствуют уменьшение температуры, изменение кислото-восстановительных условий водного раствора. При этом образуется кислый водный раствор соляной кислоты.

10. Эволюция комет заключается также в том, что их орбита переходит от первичной круговой к эллиптической, что выражается в достаточно быстром увеличении эксцентриситета кометы от нуля до единицы, после чего ее орбита становится гиперболической и комета совсем уходит из Солнечной системы. Это свидетельствует о генетической связи комет с Солнцем и солнечными протуберанцами. Таким образом, термодинамическая эволюция комет является самопроизвольным и необратимым процессом с уменьшением их внутренней энергии и увеличением энтропии системы вплоть до рассеяния вещества комет и достижения состояния равновесия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белевцев Р.Я., Бойченко С.Г., Спивак С.Д. и др. Термодинамика газового обмена в окружающей среде. Киев, Наук. Думка, 2007. - 247 с.
2. Klim I. Churyumov, Rudolf Ya. Belevtsev, Emlen V. Sobotovich, Svitlana D. Spivak, Volodymyr L. Blazhko, Volodymyr Solonenko. Magnetite microspheric particles from bright bolide of EN17101 exploded above the Trans-Carpaty mountains // XXVII General Assembly International Astronomic Union (IAU), 03-14 August, 2009, Sulamerica Convention Center, Rio De Janeiro, Brasil, S263, p: 12.
3. Белевцев Р.Я., Чурюмов К.И., Собонович Э.В., Спивак С.Д., Блажко В.И., Солоненко В.И. Поиски и исследование космического вещества от яркого болида EN171101 в Закарпатье (физико-химическая модель) // «РАДИОТЕХНИКА», Харьков, ХНУР, 2010. – с. 132-138.
4. Белевцев Р.Я., Спивак С.Д., Е.Е.Лазаренко, Блажко В.И., Чурюмов К.И. „О составе и возможном происхождении комет Солнечной системы” // Международная конференция КАММАК-2014, Винница, 2014 - с. 44-47.
5. Клименко А.П. Клатраты (гидраты газов). Киев: Наук. Думка, 1989. - 74 с.
6. Мейсон Б. Основы геохимии. М.: «Недра», 1971. - 311 с.
7. Собонович Э.В. Космическое вещество в земной коре. М.: Атомиздат, 1976. - 159 с.

8. Эберт Г. Краткий справочник по физике. М.: Гос. Из-во физико-математической литературы, 1963. - 552 с.
9. Явнель А.А. Метеоритное вещество с места падения Тунгусского метеорита // *Астрономический журнал*, 1957, т. 34, вып. 5. - с. 794-796.
10. Яворский Б.М., Дятлов А.А. Справочник по физике. М.: «Наука», 1980. - 507 с.
11. P.Spurny, V.Polubchan. EN171101 Bolide - The deepest ever photographed Fireball. Proceedings of Asteroid, Comets, Meteors (ACM 2002), 29 July - 2 August, Technical University Berlin, Germany, (ESA-SP-500), November 2002, p. 269-272.
12. Белевцев Р.Я. Происхождение и эволюция внешних геосфер: газовой атмосферы, кислого океана, свободного кислорода и возникновения жизни // *Доп. НАН України*. - 2011. - № 12. – С. 83-90.

REFERENCES

1. R. Belevtsev, S. Boichenko, S. Spivak etc. Termodinamika gazovogo obmena v okruzhaushchey srede: monografiya [Thermodynamics gas exchange in the environment] / Belevtsev R.Y., Boichenko S.G., Spivak S.D. – Kiev: Naukova dumka, 2007 - 247s. [in Russian]
2. Klim Churyumov, Rudolf Belevtsev, Emlen Sobotovich, Svitlana Spivak, Volodymyr Blazhko, Volodymyr Solonenko. Magnetite microspheric particles from bright bolide of EN17101 exploded above the Zaccarpathian mountains // XXVII General Assembly International Astronomic Union (IAU), 03-14 August, 2009, Sulamerica Convention Center, Rio De Janeiro, Brasil, S263, p: 12. [in Russian]
3. R. Belevtsev, K. Churyumov, E. Sobotovich, S. Spivak, V. Blazhko, V. Solonenko Poiski i isledovanie kosmicheskogo veshchestva ot yarkogo bolida EN 171101 v Zakarpat'e (fiziko-khmicheskaya model) [Searching and study of cosmic matter from bright bolide EN 171101 in Zaccarpathians (physicochemical model)] / R.Y. Belevtsev, K.I. Churyumov, E.V. Sobotovich, S.D. Spivak, V.I. Blazhko, V.I. Solonenko // «RADIOTECHNIK» Kharkov, 2010, p.132-138.[in Russian]
4. R. Belevtsev, S. Spivak, E. Lazarenko, V. Blazhko, K. Churyumov O sostave i vozmozhnom proishozhdeniji komet Solnechnoy sistemy [About consist and possible origin comets of Solar system] R.Y. Belevtsev, S.D. Spivak, E.E. Lazarenko, V.I. Blazhko, K.I. Churyumov // International conference CAMMAK-2014, Vinnytsa, 2014 – p. 44-47. [in Russian]
5. A. Klymenko Klatraty (hidraty gazov) [Klaraty (gas hydrates)] A.P. Klymenko // *Kiev: Naukova Dumka, 1989. - p 74. [in Russian]*
6. B Mason Osnovy geohimii [Basics of geochemistry] М.: «Nedra», 1971. – p. 311 [in Russian]
7. E. Sobotovich. Kosmicheskoe veshchestvo v zemnoy kore. [The cosmic substance in the earth's crust] E.V. Sobotovich М.:Atomizdat, 1976. – p. 159. [in Russian]
8. G. Ebert – Kраткий справочник по физике [Brief reference book on physics] / . Ebert G. М.: Gos. Iz-vo physical and mathematical literature, 1963. – p. 552 [in Russian]
9. A. Yavnel Meteoritnoe veshchestvo s mesta padeniya Tunguskogo meteorite [Meteoritic matter from the crash site of Tunguska meteorite]// *Astronomical Journal*, 1957, v. 34, edit. 5. – p. 794-796. [in Russian]
10. B. Yavorskiy, A. Dyatlov Spravochnik po fizike [Manual of Physics] .М.: «Наука», 1980. p. 507 [in Russian]
11. P Spurny, V. Polubchan. EN171101 Bolide - The deepest ever photographed Fireball. Proceedings of Asteroid, Comets, Meteors (ACM 2002), 29 July - 2 August, Technical University Berlin, Germany, (ESA-SP-500), November 2002, p. 269-272.[in English]
12. R. Belevtsev – Proishozhdeniya i evolutsia vneshneh geospher: gazovodnoy atmosphery, kislogo okeana, svobodnogo kisloroda i vzniknoveniya zhizni [Origin and evolution of external geospheres: gas-aqueous

atmosphere, acidic ocean, free oxygen and appearance of life] // Report. NAN of Ukraine. - 2011. № 12. – p. 83-90. [in Russian]

ПРО ФІЗИЧНІ ПАРАМЕТРИ ТА КОМЕТНУ ПРИРОДУ ЯСКРАВОГО БОЛІДУ EN171101 «ТУР'Ї РЕМЕТИ» У ЗАКАРПАТТІ

Белєвцев Р.Я., Чурюмов К.І., Мозгова А.М., **Соботович Е.В.**, **Співак С.Д.**, Блажко В.І., Лазаренко О.Є., Кузенко С.В., Бондаренко О.С.

Белєвцев Р.Я. д. г-м. н., зав.від., професор, член-кор. НАН України, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», belevtsev@ukr.net

Чурюмов К.І. д.ф-м. н., зав.від., професор, член-кор. НАН України, Астрономічна обсерваторія Київського Національного Університету ім. Тараса Шевченка. climchur@ukr.net

Мозгова А.М. н. с., Астрономічна обсерваторія Київського Національного Університету ім. Тараса Шевченка.

Соботович Е.В. академік НАН України, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Співак С.Д. пров.н.с., к. г. н., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Блажко В.І. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Лазаренко О.С. ст. н. с., к. г.-м. н., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Кузенко С.В. н. с., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

Бондаренко О.С. інж. 2 кат., ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»

У роботі викладено результати пошукових шліхувальних, мінералого-петрографічних і фізико-хімічних досліджень речовини яскравого боліду EN171101 («Тур'ї Ремети») в Закарпатті. Були знайдені і проаналізовані свіжі магнітні залізисті фаяліт-вюстітові космічні кульки, розмір яких збільшується із заходу на схід по сліду польоту боліду в бік його максимуму. Проаналізовано зміну фізичних параметрів боліду, який пролітає по орбіті в 106 км за 7 секунд з висоти від 81 км зі швидкістю від 18,5 км/с. В таких умовах при масі боліду від 4300 кг зростає кінетична енергія і сила опору середовища, які проявляються в різкому розширенні світлого сліду боліду на висоті 30 км в його максимумі зі збільшенням об'єму його високотемпературного газу в 10^6 разів. Потім спостерігається швидке звуження сліду боліда і виклинювання його на висоті 13,5 км при зменшенні швидкості і маси в 10 разів. Болід «Тур'ї Ремети» мав не метеоритну, а метеорну природу. Перед початком світності боліду його первинне ще холодне крижане тіло являло собою мікрокомету, яка оберталася навколо Сонця по еліптичній орбіті близько до орбіти Венери. Визначено термодинамічні параметри реакцій в речовині боліду. Тиск і температура газу в боліді спочатку значно зростали, а потім зі збільшенням об'єму боліду вони різко зменшувались до рівноважного значення. Ці процеси в боліді пов'язані з входженням його у все більш щільні шари атмосфери Землі, що зумовлює його виклинювання і згасання. Природа боліду пов'язана з термодинамічною еволюцією комет, як самовільним і незворотним процесом із зменшенням їхньої внутрішньої енергії і збільшенням ентропії системи аж до досягнення стану рівноваги. Первинне джерело речовини комет пов'язане з еволюцією речовини сонячних протуберанців, в яких відбувається охолодження сонячної розсіяної газової плазми з видаленням легких газів в результаті дифузії та конденсації водного газу в лід, при цьому вміст дейтерію в протуберанці збільшується порівняно з протієм. В кометах виявлено вільний кисень, який утворюється при підвищенні температури в перигелії комет. Визначено кометну природу боліду «Тур'ї Ремети» як мікрокомети з первинним крижаним ядром, що має велике значення при вивченні подібних явищ для космоєкології.

Ключові слова: термодинаміка боліду, фізичні параметри, швидкість, кінетична енергія, сила опору середовища, об'єм, тиск та температура газу, ізотопи, склад залізистих космічних кульок з шліхів, кометна природа боліду

ABOUT PHYSICAL PARAMETERS AND NATURE OF BRIGHT BOLIDE EN171101 «TURJA REMETA» IN TRANSCARPATHIA

R. Belevtsev, K. Churyumov, A. Mozgova, E. Sobotovich, S. Spivak, V. Blazhko, E. Lasarenko, S. Kuzenko, A. Bondarenko

R. Belevtsev D.Sc. (Geol.-Min.), Head of Department, Professor, Cor. Member NASU, S.I. «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine», belevtsev@ukr.net

K. Churyumov D.Sc. (Phys.-Math.), Head of Department, professor, Cor. Member NASU, Astronomical Observatory of Kyiv National University of Taras Shevchenko, climchur@ukr.net.

A. Mozgova Researcher, (Phys.-Math.) Astronomical Observatory of Kyiv National University of Taras Shevchenko

E. Sobotovich Acad. NASU, S.I. «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

S. Spivak Principal Researcher, D.Sc. (Geol.-Min.), S. I. «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

V. Blazhko Researcher, S.I. «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

E. Lasarenko Senior Researcher, Ph.D. (Geol.-Min.), S.I. «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

S. Kuzenko – Researcher, S.I. «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

A. Bondarenko Engineer, S.I. «Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine»

The article presents the results of the search of sanding, mineralogical and petrographic and physico-chemical studies of substance of the bright bolide EN171101 («Turia Remeta») in Transcarpathia. Recent magnetic glandular fayalite-wustite space balls, the size of which increases from west to east along the flight track bolide to the side of the bolide maximum 0.1-0.3 mm to 1.0-2.0 mm in diameter, were found and described during the research. Changes in the physical parameters of the bolide were analyzed that flies with a speed of 18.5 km / s in its orbit of 106 km in 7 seconds from a height of 81 km. As to this considerable kinetic energy and power of resistance of the environment is increasing, that is manifested in the sharp increase of bolide glowing trail at an altitude of 30 km in the bolide with maximum increase in its high-temperature gas 10^6 times. Then there is a rapid narrowing of the bolide trail and thinning of it at a height of 13.5 km with decreasing speed and mass in 10 times. Bolide “Turia Remeta” was not of a meteorite but of a meteor nature. Before its initial luminosity bolide was an icy cold body - the micro comet, which revolved around the sun in an elliptical orbit around the orbit of Venus. Thermodynamic parameters of reactions in the matter of the bolide were defined. Pressure and temperature of gas in bolide are initially growing rapidly, then with increasing of volume are drastically reduced to equilibrium. These processes of the bolide are associated with its entry in the increasingly dense layers of the atmosphere and all options for reducing bolide, which makes it displacement and fading. Conditions of these blasting processes and chemical reactions turn into mainly high-water gas in falling bolide as they were defined as well. Nature of bolide is related to thermodynamic evolution of comets as voluntary and irreversible reduction of their internal energy and entropy of the system increase reaching a state of equilibrium. Primary source of the material associated with the evolution of comet material are solar prominences, which is scattered solar cooling gas plasma, the removal of light gases as a result of the diffusion and condensation aqua gas into ice, which the content of deuterium in prominences increases over protium. In the comments found free oxygen, which is formed by the reaction between liquid water and gaseous chlorine at elevated temperatures in the perihelion of comets. Conclusions about the nature the bolide as a micro comet with primary icy nucleus were made, it has the importance for Cosmo ecology.

Key words: bolide thermodynamics, physical parameters, speed, kinetic energy, the power of resistance of environment, volume, pressure and temperature of the gas, isotopes, the composition of the cosmic balls of glandular concentrates, comet nature of bolide.