



УДК 523.6

Изучение кометного вещества на земной поверхности

А.П. Видьмаченко¹, А.Ф. Стеклов²¹Главная астрономическая обсерватория НАН Украины²Межрегиональная Академия управления персоналом

Для изучения первичного вещества кометных ядер используются дорогостоящие космические аппараты. Но существует около 15 основных метеорных потоков, связанных с кометными ядрами и астероидами. Найденные на поверхности Земли метеориты имеют кору, образовавшуюся под воздействием высокой температуры. Эта кора является хорошим теплоизолятором, благодаря чему внутри сохраняются даже такие минералы, которые не выносят сильного нагрева (например, гипс). Поэтому мы предлагаем, что для изучения в земных условиях природы кометных ядер и исследования первичного химического состава их вещества, необходимо тщательно изучать образцы упавшего на поверхность Земли метеоритного вещества. Чем большего размера такой образец, тем больше шансов, что температурные условия при его вхождении в плотные слои атмосферы Земли не изменили первоначальную структуру и химический состав вещества, из которого оно было образовано в момент зарождения планетезималей в Солнечной системе. Поэтому найти первичное кометное вещество можно здесь, на Земле, а не за миллионы километров в космосе.

ВИВЧЕННЯ КОМЕТНОЇ РЕЧОВИНИ НА ЗЕМНІЙ ПОВЕРХНІ, Видьмаченко А.П., Стеклов А.Ф. — Для вивчення первинної речовини кометних ядер використовуються дорогі космічні апарати. Але існує близько 15 основних метеорних потоків, пов'язаних з кометними ядрами і астероїдами. Знайдені на поверхні Землі метеорити мають кору, що утворилася під впливом високої температури. Ця кора є гарним теплоізолятором, завдяки чому всередині зберігаються навіть такі мінерали, які не витримують сильного нагріву (наприклад, гіпс). Тому ми пропонуємо, що для вивчення в земних умовах природи кометних ядер і дослідження первинного хімічного складу їх речовини, необхідно ретельно вивчати зразки метеоритної речовини, що впали на поверхню Землі. Чим більшого розміру такий зразок, тим більше шансів, що температурні умови при його входженні в щільні шари атмосфери Землі не змінили первісну структуру і хімічний склад речовини, з якої він був утворений в момент зародження планетезималей в Сонячній системі. Тому знайти первинну кометної речовини можна й на Землі, а не за мільйони кілометрів у космосі.

STUDY OF COMETARY MATTER ON THE EARTH SURFACE, by Vidmachenko A.P., Steklov A.F. — Spacecrafts are using to study the primordial matter of cometary nuclei. But there are about 15 meteor streams associated with comet nuclei and asteroids. Meteorites found on the surface of the Earth have crust formed under high temperature. This crust is a good thermal insulator, so that persist even for minerals that can not withstand high heat. Therefore, we propose that for the study of the nature of cometary nuclei and the substance with initial chemical composition in the Earth's environment, you need to carefully study meteorites falling on the surface of the Earth. The larger size of a meteorite, the greater chance that the temperature conditions at its entry into the Earth's atmosphere did not change the original structure and the chemical composition of the substance from which it was formed at the time of the birth of planetesimals in the Solar system. Therefore, the primary cometary material can be found on Earth, not in space a million miles from Earth.

Ключевые слова: кометные ядра; астероиды; химический состав первичного вещества.

Key words: cometary nucleus; asteroids; chemical composition of primordial matter.

Кометой считают малое тело Солнечной системы, которое вращается вокруг Солнца и имеет так называемую кому (атмосферу) и/или хвост. Последние являются следствием испарения ядра кометы под действием солнечного излучения. Достаточно полное представление о поверхности ядра получено в 1986 г. благодаря близким пролетам возле кометы Галлея советских космических аппаратов (КА) «Вега-1», «Вега-2» и европейского «Джотто». В 2005 г. КА НАСА «Deep Impact» приблизился к комете Темпеля 1 и с помощью «ударника», отделившегося от основного КА на скорости 10,3 км/с столкнулся с кометой. Если раньше считалось, что ее ядро представляет собой огромную глыбу льда с вкраплениями каменных горных пород в виде мелких обломков, то оказалось, что оно состоит из очень рыхлого материала, который напоминает не груды камней, а ком пыли, пустоты в котором составляют до 80%. Поэтому непонятно, как в такой субстанции могут храниться кратеры, холмы, уступы, которые отчетливо видны на снимках ядер комет.

В 2004 г. Европейское космическое агентство к комете Чурюмова–Герасименко запустило станцию «Rosetta», которая в 2014 г. станет его искусственным спутником и будет почти два года двигаться вместе с ней, фиксируя сведения о том, как по мере приближения к Солнцу нагревается поверхность ядра, выбрасывается вещество и возникает газовой-пылевой хвост. Затем от станции отделится посадочный модуль и совершит посадку на кометное ядро, прикрепится специальным гарпуном и начнет бурение ее поверхности. Полученный образец вещества будет проанализирован мини-лабораторией. И все это —

для получения подробной информации о том, как устроено и из чего состоит кометное ядро. В 2013 г. НАСА одобрило проект новой космической миссии OSIRIS-Rex, состоящей в возвращении на Землю образцов горных пород, собранных с астероида 1999 RQ36. Космический аппарат миссии под названием Origins-Spectral Interpretation Resource Identification Security REgolith Explorer (OSIRIS-Rex) планируется отправить в 2016 г. для сбора образцов породы к астероиду Бенну, встреча с которым должна состояться в 2018 г. Зонд произведёт съёмку поверхности астероида и извлечёт из него образцы общим весом примерно в 60 г, которые затем будут доставлены на Землю для дальнейшего изучения.

Но все космические миссии — довольно дорогостоящее «удовольствие». В то же время существует и намного более дешёвые способы обстоятельно изучить кометное вещество в земных условиях. Так, всем хорошо известно такое явление, как метеор, возникающее при сгорании в атмосфере Земли мелких метеорных тел (например, осколков комет или астероидов). Часто метеоры группируются в метеорные потоки, появляющиеся в определённое время года в определённой стороне неба.

Метеоры можно увидеть в любую ясную ночь, а при благоприятных атмосферных условиях даже невооружённым глазом можно заметить 5-10 метеоров в час. Это так называемые спорадические метеоры, связанные с вторжением в земную атмосферу отдельных частиц. Кроме спорадических метеоров, есть около 15 основных метеорных потоков, большинство из которых объединены в семейства, связанные с кометными ядрами и/или астероидами (рис. 1). Так, ежегодно в апреле наблюдают поток Лириды (5-10 метеоров в час), который связывают с кометой Thatcher, 1861 I. Майский метеорный рой η -Акварид образован кометой Галлея. Для хорошо известного более 1200 лет метеорного потока Персеиды (в среднем за один час около 50 штук) ещё Дж.Скиапарелли в 1866 г. установил его связь с кометой Swift-Tuttle, 1862 III. Метеорный рой Дракониды образован кометой Джакобини 1900 III, которая была потеряна, а затем её снова обнаружил в ноябре 1913 г. Циннер (поэтому комета Джакобини-Циннера); крупнейшие в прошлом веке звездопады были в 1933 и 1946 гг. (около 10 000 метеоров в час). Метеорный поток Ориониды связан (как и η -Акварид) с кометой Галлея.

На сходство роев первым обратил внимание Оливье в 1911 г. Земля в октябре-ноябре пересекает более разреженную часть этого же роя, по сравнению с η -Акварид. С 15 сентября по 1 декабря с двух радиантов в созвездии Тельца (латинском Таурус) наблюдаются два потока метеоров — Южные и Северные Тауриды. Очень быстрые метеоры ноябрьского потока Леониды (скорость ≈ 71 км/с) относятся к рою, образованного кометой Tempel-Tuttle, 1866 I; так, в 2002 г. в Киеве на двух наблюдательных станциях телекамеры зарегистрировали звездопад с количеством метеоров в максимуме около 1600 штук. Для одного из активных ежегодных потоков Геминиды с большим количеством очень ярких метеоров, родительским телом роя считают малую планету 3200 Фаэтон (1983 ТВ). Декабрьский метеорный поток Урсиды с радиантом в созвездии Малой Медведицы (лат. Урса Минор) считают образованным кометой Tuttle, 1939 X.

Таким образом, в околоземном космическом пространстве движутся самые различные метеоритные тела, которые являются космическими осколками астероидов и комет. Когда пути их движения пересекаются с орбитой Земли (рис. 1), то они залетают в её атмосферу.

В зависимости от взаимной геометрии орбит Земли и метеороидного тела, такой объект входит в атмосферу Земли на скорости от 11 до 72 км/с. На таких скоростях начинается его разогрев и свечение [2]. За счёт обгорания и сдувания набегающим потоком частиц вещества метеорного тела (абляции) масса долетевшего до поверхности тела, может быть меньше, а в некоторых случаях и значительно меньше его массы на входе в атмосферу.

Явления вторжения космических тел [1, 2] в атмосферу имеют три основные стадии:

1. Полёт в разреженной атмосфере (до высот около 80 км), где взаимодействие молекул воздуха носит корпускулярный характер. Частицы воздуха соударяются с телом, прилипают к нему, или отражаются и передают ему часть своей энергии. Тело нагревается от непрерывной бомбардировки молекулами воздуха, но не испытывает заметного сопротивления, и его скорость остаётся почти неизменной. На этой стадии внешняя часть космического тела нагревается до тысячи градусов и выше. Здесь характерным параметром задачи является отношение длины свободного пробега молекул к размеру тела L , которое называется числом Кнудсена Kn . В аэродинамике принято учитывать молекулярный подход к сопротивлению воздуха при $Kn > 0.1$.

2. Полет в атмосфере в режиме непрерывного обтекания тела потоком воздуха, когда воздух считается сплошной средой и атомно-молекулярный характер его состава явно не учитывается. На этой стадии перед телом возникает головная ударная волна, за которой резко повышается давление и температура. Само тело нагревается за счёт конвективной теплопередачи и за счёт радиационного нагрева, а температура может достигать нескольких десятков тысяч градусов, и давление — до сотен атмосфер. При резком торможении возникают деформации тела, оплавление и испарение его поверхностей, унос массы набегающим воздушным потоком.

3. При приближении к поверхности Земли плотность воздуха растёт, сопротивление тела увеличива-

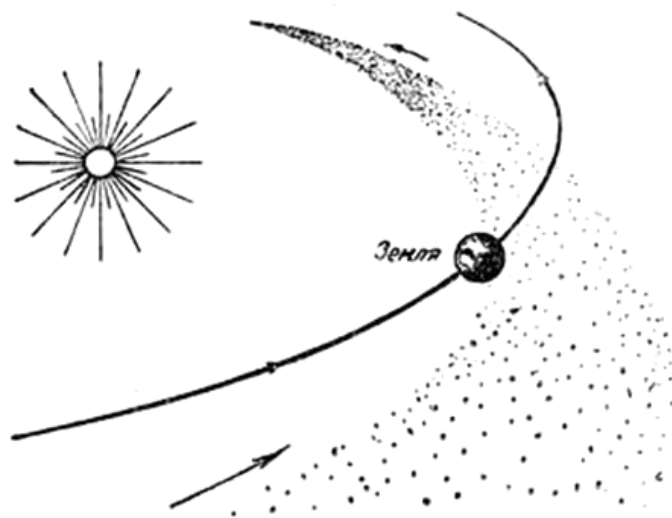


Рис. 1. Так орбита метеороидов пересекает орбиту Земли.

ется, и оно либо практически останавливается на какой-либо высоте, либо продолжает путь до прямого столкновения с Землей. При этом, часто крупные тела разделяются на несколько частей, каждая из которых падает на Землю отдельно. При сильном торможении космической массы над Землей, сопровождающие его ударные волны продолжают свое движение к поверхности Земли, отражаются от неё и производят возмущения нижних слоев атмосферы и земной поверхности.

Найденные на поверхности Земли, например, углистые метеориты имеют одну важную особенность: тонкую стекловидную кору, образовавшуюся под воздействием высоких температур. Эта кора является хорошим теплоизолятором, благодаря чему внутри углистых метеоритов сохраняются даже такие минералы, которые не выносят сильного нагрева (например, гипс). Таким образом стало возможным при исследовании химической природы подобных метеоритов обнаружить в их составе даже вещества, которые в современных земных условиях являются органическими соединениями, имеющими биогенное природу: насыщенные углеводороды (изопреноиды, n-алканы, циклоалканы), ароматические углеводороды (нафталин, алкибензолы, аценафтен, пирены), карбоновые кислоты (жирные, бензолкарбоновые, оксibenзойные), азотистые соединения (пиримидин, пурин, гуанилмочевина, триазин, порфирины). Поэтому, если в земных условиях мы находим довольно крупный оплавленный осколок метеорита, то вполне можем утверждать, что внутри его сохранилось вещество, которое образовалось на заре рождения Солнечной системы.

Из статистических исследований следует, что прародителями большинства метеорных потоков являются именно кометы. Кометные ядра [3] по строению имеют рыхлую структуру и с потерей летучей компоненты разваливаются на многочисленные осколки. И хотя многие упавшие на Землю метеороидные частицы по химическому составу являются каменными и железными метеоритами, но большинство из них тормозятся в атмосфере так, будто плотность их очень мала. То есть, они представляют собой довольно пористые тела, состоящие из более мелких частиц, и среднее значение плотности метеороидных тел, входящих в известные метеорные рои, составляет около 0.3 г/см^3 . Конечно, прародителями метеоров и болидов могут быть не только кометы, но также и астероиды, разрушившиеся в результате столкновений.

Исходя из вышеприведенного, мы можем сделать вывод о том, что для изучения в земных условиях природы кометных ядер и исследования первичного химического состава вещества, его составляющего, необходимо не только смотреть на небеса над нами, но следует и тщательно изучать образцы метеоритного вещества, разбросанного... под нашими ногами. И чем большего размера такой образец, тем больше шансов, что температурные условия при его вхождении в плотные слои атмосферы Земли, не изменили первоначальную структуру и химический состав того вещества, из которого оно была образовано в момент зарождения планетезималей в Солнечной системе.

Таким образом, найти первичное кометное вещество можно здесь, на Земле, а не за миллионы километров в космосе.

1. *Бронштэн В.А.* Физика метеорных явлений. — М.: Наука, 1981. — 416 с.
2. *Кручиненко В.Г.* Математико-фізичний аналіз метеорного явища. — Київ: Наукова думка, 2012. — 294 с.
3. *Шульман Л.М.* Ядра комет. — М.: Наука, 1987. — 230 с.

Поступила в редакцию 24.07.2013