



Метеориты



История изучения метеоритов

- История исследования метеоритов насчитывает чуть больше двух столетий, хотя человечество познакомилось с этими небесными посланниками существенно раньше. Первое железо, использованное человеком, несомненно, было метеоритным. Это нашло свое отражение в названии железа у многих народов. Так, древние египтяне именовали его "бинипет", что означает небесная руда. В древней Месопотамии его называли "анбар" - небесный металл; древнегреческое "сидерос" происходит от латинского слова "sidereus" - звездный. Древнеармянское название железа "еркам" - капнувший (упавший) с неба.

Первое задокументированное сведение о камнях, падающих с неба, встречено в китайских летописях и датируется 654 годом до н.э. Наиболее древний метеорит, наблюдавшийся при падении и сохранившийся до наших дней, - это каменный метеорит Nogato, падение которого, как задокументировано в старых японских летописях, наблюдалось 19 мая 861 г. н.э.



- На рисунке:
падение
метеорита
Бенарес
(Индия) в
1798 г.

- Шли века, метеориты падали на Землю, летописные данные меняли свою религиозную форму на все более правдоподобное описание падений. Тем не менее к концу XVIII века большинство европейских ученых все же крайне скептически относились к сообщениям простого люда о камнях, падающих с неба. В 1772 году известный химик А.Л. Лавуазье стал одним из авторов доклада ученых в Парижскую академию наук, в котором говорилось, что "падения камней с неба физически невозможны". После такого заключения, подписанного авторитетными учеными, Парижская академия наук отказалась рассматривать какие-либо сообщения "о камнях, падающих с неба". Столь безапелляционное отрицание возможности падения на Землю тел из космического пространства привело к тому, что, когда утром 24 июня 1790 года на юге Франции упал метеорит Barbotan и падение его было засвидетельствовано бургомистром и городской ратушей, французский ученый П. Бертолле (1741-1799) писал: "Как печально, что целый муниципалитет заносит в протокол народные сказки, выдавая их за действительно виденное, тогда как не только физикой, но и ничем разумным вообще их нельзя объяснить."
- Увы, подобные высказывания не были единичными. И это в той самой Франции, где 7 марта 1618 года упавший на здание Парижского суда небольшой аэролит сжег его. В 1647 году болид раздавил двух яличников на Сене. В 1654 году метеорит убил

- Однако следует отметить, что не все ученые единогласно разделяли официальную точку зрения Парижской академии и в историю метеоритики навсегда вошли имена Эрнста Хладного и Эдварда Кинга, опубликовавших в конце XVIII века первые книги по метеоритике на немецком и английском языках.

Первый "светлый луч в темном царстве" блеснул 26 апреля 1803 года: около городка Легль на севере Франции выпал каменный метеоритный дождь, после которого было собрано несколько тысяч камней. Падение метеорита было документально засвидетельствовано многими официальными лицами. Теперь уже даже Парижская академия наук не могла отрицать сам факт падения метеоритов с неба. После доклада академика Био об обстоятельствах падения Легльского метеоритного дождя близ городка Легль Парижская академия наук вынуждена была признать: метеориты существуют, метеориты - тела внеземного происхождения, метеориты действительно попадают на Землю из межпланетного пространства.

Такое официальное признание метеоритов явилось импульсом для их детального изучения, и благодаря усилиям многих исследователей метеоритика постепенно становится наукой, изучающей минеральный и химический состав космического вещества. Основными достижениями метеоритики XIX века можно признать следующие: 1) установление самого факта существования метеоритов, 2) отождествление разных типов метеоритов с отдельными оболочками планет и 3) гипотезу об астероидальном происхождении метеоритов.

- На рубеже XIX-XX веков исследователи окончательно утвердились во мнении, что одним из ключевых моментов в построении непротиворечивого сценария образования Солнечной системы могут стать те самые "камни, падающие с неба", которые столетием раньше были преданы анафеме и безжалостно выбрасывались на помойки подобно тому, как во времена инквизиции (да и не только инквизиции) сжигались книги.

Итак, в начале XX века метеоритика праздновала свою победу. Она была чуть ли не единственной наукой, объект исследования которой мог помочь разобраться в сложных процессах образования и последующей эволюции минерального вещества в Солнечной системе. Детальное изучение минералогического и химического составов различных метеоритов, выполненное во второй половине XX века, позволило серьезно пересмотреть и усовершенствовать первые классификационные схемы метеоритов и представления наших предшественников о генезисе самих метеоритов.

Палласово железо

- К одной из самых распространённых групп относится метеорит Палласово железо.
- Четыре года везли из далёкой Сибири огромную - глыбу железа, и в мае 1777 г. она наконец-то прибыла в Петербургскую Академию наук. Грубая пористая «губка» чистого железа с включениями овальных зёрен полупрозрачного минерала оливина весом 38 пудов и более 50 см в поперечнике была доставлена из Красноярска. Отправил её оттуда известный русский учёный и путешественник Пётр Симон Паллас (1741—1811), который считал эту находку «наиболее удивительной достопримечательностью минерального царства», колоссальным образцом земного самородного железа. Прежде чем эту глыбу увидел Паллас, она более 20 лет пролежала во дворе кузнеца Якова Медведева, который обнаружил её и перевёз к себе ещё в 1749 г., чтобы использовать для собственных надобностей. За это время вес глыбы уменьшился на полтора-два пуда.
- После доставки глыбы в Санкт-Петербург Паллас решил сообщить научному миру о сделанной им находке: в России опубликовал некоторые сведения о ней, а крупнейшим учёным разных стран разослал образцы. Вскоре за этой находкой утвердилось название «Палласово железо».



Академик П.С. Паллас

Найден в 1749 г. в Енисейской тайге
Яковом Медведевым
(д. Медведково, Красноярский край).
Привезен в кунсткамеру
П.С. Палласом в 1772 г.
Вес 687 кг



Метеорит
«Палласово Железо»
(гипсовый муляж)



<http://www.fmm.ru/meteorites/pallas.htm>

Палласово железо

- В 1867 г. Палласово железо было распилено (на что ушло более четырёх месяцев!), и затем один из двух срезов был отполирован (что потребовало ещё четырёх лет работы). В таком (распиленном и отполированном) виде огромный метеорит можно видеть сейчас в Москве, в Минералогическом музее Российской Академии наук, который носит имя А.Е. Ферсмана. Несмотря на все полученные при изучении метеорита данные, окончательное признание его внеземной природы пришло лишь в 1902 г., когда в Финляндии упал аналогичный по составу метеорит (Марьялахти). Своеобразие состава Палласова железа (смесь самородного железа и оливина) привело к выделению особого класса метеоритов (железокаменных) и отдельной группы в этом классе, которая так и называется — палласиты.

Палласово железо

- Факт существования в природе чистейшего самородного железа (в чём многие сомневались) стал общепризнанным благодаря находке Палласа. Однако попытки понять, как образовалось подобное железо, оставались безуспешными.
- Коренные жители местности, где было найдено Палласово железо, — хакасы — считали, что это «упавшая с неба святыня». Высказывались различные предположения: что это железо было выплавлено человеком при высокой температуре или получено методом холоднойковки, что оно выпало в осадок из раствора, выплавилось при лесном пожаре, возникло при извержении вулкана... Сам Паллас предположил, что глыба появилась из глубин Земли, поскольку не сомневался в её естественном происхождении. Правда, при этом оставалось непонятным, откуда взялась корка железистой окалина, которая когда-то покрывала всю глыбу. Ведь окалина — оксид железа — образуется только на поверхности раскалённого металла. Вместе с тем в первом же своём печатном сообщении Паллас честно отметил, что старожибы убеждены, будто глыба «упала с



- Метеоритная коллекция российской академии наук, хранящаяся в ГЕОХИ РАН, является одной из крупнейших мировых коллекций и содержит более 800 метеоритов всех классов и типов, включая многие редкие и уникальные.

СИХОТЭ-АЛИНЬ

- Падение 12 февраля 1947 г.
10 ч. 38 мин. 46° 9'36" N, 134° 39'12" E Россия, Приморский
Край Десятки тыс. экз.
общим весом более 31 т.
- *"Сихотэ-Алинский
метеоритный дождь
относится к числу
уникальных явлений
природы. Он
представляет собой
самый обильный и притом
железный метеоритный
дождь, далеко
превосходящий все
известные метеоритные
дожди как по числу
индивидуальных
экземпляров, так и по их
общей массе".*
- Е.Л. Кринов, 1981 г.



СИХОТЭ-АЛИНЬ



Один из кратеров, образовавшихся при падении Сихотэ-Алинского метеорита. Картина художника Н.А.Кравченко (1948 г)



- Падение Сихотэ-Алинского метеорита 12 февраля 1947 г., 10 ч. 38 мин., г.Иман, Приморский край. Рисунок худ. П.И.Медведева - очевидца этого события.

СИХОТЭ-АЛИНЬ

- В земную атмосферу вошло космическое тело диаметром в несколько метров и массой в сотни тонн. При движении через нее оно испытало многократное дробление. Первый разрыв тела на части произошел на высоте около 25 км, последний примерно на 6 км.
- Крупные куски образовали на поверхности почвы кратеры (от 0.5 до 30 м в диаметре).
- Их удары были настолько сильны, что эти куски частично разрушались, а их осколки были выброшены из кратеров.
- Всего было собрано несколько десятков тысяч фрагментов общей массой более 27 т. Самый крупный неразрушившийся экземпляр весит 1745 кг. Его химический состав: Fe 93.29; Ni 5.94; Co 0.38; Cu 0.03; P 0.46; S 0.28 (мас.%).
- В минеральном составе доминирует металлическое железо, в незначительных количествах присутствуют троилит (FeS), шрейберзит ($[\text{Fe}, \text{Ni}]_3\text{P}$) и хромит (FeCr_2O_4). Предел прочности при растяжении 4.4 кгс/мм^2 , при сжатии - 40.6 кгс/мм^2 . Расчеты орбиты показали, что Сихотэ-Алинское метеоритное тело даже на наибольшем расстоянии от Солнца находилось внутри пояса астероидов и никогда не приближалось к Солнцу ближе чем на радиус земной орбиты. Распад родительского тела Сихотэ-Алинского метеорита, который привел к формированию данной орбиты, произошел 350 млн. лет назад

СИХОТЭ-АЛИНЬ



- Обоз первой экспедиции Комитета по метеоритам на пути к месту падения Сихотэ-Алинского метеорита. Апрель 1947 г.

- Саперы вытаскивают из кратерной воронки самый большой фрагмент Сихотэ-Алинского метеорита весом 1745 кг. Снимок 1950 г.



СИХОТЭ-АЛИНЬ



ПРЕМИИ ЗА НАХОДКИ МЕТЕОРИТОВ

- Российская Академия Наук возобновила практику премирования за находки метеоритов, прерванную в годы перестройки.
- В 2003 г Академия Наук объявила о возобновлении практики премирования. В 2003 году были выплачены две премии за находку метеоритного дождя Дроница в размере 30 и 10 тыс. руб.
- Премия за находку **нового метеорита** будет выплачиваться в случае передачи основной массы найденного метеорита в Метеоритную коллекцию РАН или за содействие в сборе экземпляров **нового метеоритного дождя**. Лаборатория метеоритики ГЕОХИ РАН фиксирует факт передачи метеоритов в Метеоритную коллекцию РАН или содействия в их поисках и ходатайствует о выплате премии. Размер премии будет определяться типом найденного метеорита.
- За всю историю существования премирования от денежного вознаграждения за находку метеорита отказались по идейным соображениям только три

Метеориты по вещественному составу подразделяются на три класса: **каменные, железо-каменные и железные**. Образовавшиеся вне Земли, они позволяют получать важную информацию о внеземном веществе Солнечной системы. В составе метеоритов выявлено более 150 минералов, которые, за исключением железа с примесью никеля, широко распространены на Земле.

Железные метеориты (их чуть больше 3%) состоят главным образом из никелистого железа (более чем на 95%) и содержат примесь других минералов железа.

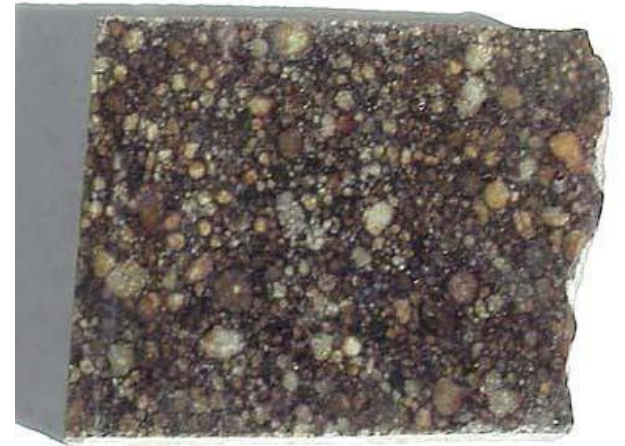
Железо-каменные метеориты состоят из силикатов и никелистого железа примерно в одинаковых пропорциях. Одна из разновидностей железо-каменных метеоритов – палласиты.

Каменные состоят в основном из силикатов (оливина и пироксена). Каменные метеориты делятся на два подкласса: хондриты и ахондриты.



Небольшая часть хондритов (примерно 2—3% общего числа метеоритов) резко отличается по составу — они содержат много углерода (до 5%), серы, воды (до 20%). Эти хондриты получили название углистых. Их малое количество объясняется, по-видимому, тем, что они сложены легко разрушающимися минералами и редко долетают до земли, сгорая в атмосфере. Типичными углистыми хондритами являются метеориты Старое Борискино (упавший 20 апреля 1930 г. в Оренбургской области в России) и Грозная (упавший 28 июня 1861 г. на Северном Кавказе). Все остальные каменные метеориты, в которых нет шариков хондр, называют ахондритами. По минеральному составу они похожи на хондриты. Большая часть ахондритов похожа на глубинные магматические породы земной коры. Такие метеориты, как Ветлуга (упал 27 февраля 1949 г. в Горьковской, ныне Нижегородской области в России) или Червоный Кут (упал 23 июня 1939 г. в Сумской области на Украине), трудно отличить от земных горных пород — габбро. Иногда ахондриты напоминают вулканические породы Земли — базальты. Такой метеорит — Ибитира — упал в Бразилии летом 1957 г. Он представляет собой пористую стекловидную породу, насыщенную пузырьками газа. По особенностям своего строения он напоминает обломок маломощного (толщиной 20—25 м) вулканического потока. Общей особенностью всех метеоритов являются признаки дробления, ударов различной силы, которые они испытали. Иногда это только трещины, иногда весь метеорит состоит из обломков разных по составу и строению хондритов или ахондритов. По-видимому, история существования метеоритов (точнее, их родительских тел) в космосе была длительной и беспокойной.

Хондриты



- Хондриты получили свое имя благодаря тому, что они все (за редкими исключениями) содержат хондры - сфероидальные образования преимущественно силикатного состава. Большинство хондр имеет размер менее 1 мм в диаметре, но некоторые могут достигать и нескольких миллиметров. Хондры находятся в обломочной или мелкокристаллической матрице.
- Хондриты являются наиболее примитивными из всех известных метеоритов. Особенности их вещественного состава и структуры определяются процессами конденсации, испарения и аккреции минерального вещества в солнечной небуле. Возраст хондритов оценивается в 4,5 млрд. лет.

- Около 10% всех каменных метеоритов образуют подкласс ахондритов. Ахондриты лишены хондр и состоят из вещества, образовавшегося в результате процессов плавления и дифференциации протопланетных и планетных тел. В этом смысле ахондриты аналогичны земным магматическим породам.
- Хондриты, ахондриты, железо-каменные и железные метеориты в свою очередь подразделяются на группы и подгруппы.
- Подавляющее большинство метеоритов поступили на Землю из астероидного пояса. В то же время среди метеоритов были идентифицированы фрагменты пород Луны и Марса.

Происхождение метеоритов

- Основными фактами, установленными в результате изучения метеоритов и условий их падений на Землю, которые имеют значение для проблемы происхождения метеоритов, являются следующие:
Надежные определения орбит нескольких метеоритов, таких как Сихотэ-Алинский, Pultusk и др., показывают астероидный характер этих орбит.
Метеориты представляют собой физические тела с определенной и сложной структурой, указывающей на сложный и длительный путь их развития.
Среди всех известных типов метеоритов можно найти разновидности, заполняющие непрерывный ряд (как в отношении минерального состава, так и в отношении структуры) от одного крайнего случая до другого: от чисто железных метеоритов до каменных, совершенно не содержащих никелистого железа – ахондритов
- Итак, вся совокупность известных науке фактических данных позволяет сделать вывод о том, что метеориты представляют собой обломки небесных тел нашей солнечной системы, небольшого размера (астероидов) и более крупных тел (планет).

Морфология метеоритов

- Прежде чем достигнуть земной поверхности, все метеориты на больших скоростях (от 5 км/с до 20 км/с) проходят сквозь слои земной атмосферы. В результате чудовищной аэродинамической нагрузки метеоритные тела приобретают характерные внешние признаки такие как:

Ориентированно-конусообразную или оплавленно-обломочную форму, Кору плавления, и в результате абляции (высокотемпературной, атмосферной эрозии) уникальный регмаглиптовый рельеф.

Самым ярким признаком каждого метеорита является кора плавления. Если метеорит не разбился при своем падении на Землю или если он не был разбит кем-либо позднее, то он со всех сторон бывает покрыт корой плавления. Цвет и структура коры плавления зависит от типа метеорита. Часто кора плавления железных и железокаменных метеоритов имеет черный цвет, иногда с буроватым оттенком. Особенно хорошо видна кора плавления на каменных метеоритах, она черная и матовая, что характерно главным образом для хондритов. Однако иногда кора бывает сильно блестящей, как бы покрыта черным лаком; это характерно для ахондритов. Наконец, очень редко наблюдается светлая, полупрозрачная кора, сквозь которую просвечивается вещество метеорита.

Морфология метеоритов

- Кора плавления наблюдается, конечно, только на тех метеоритах, которые были найдены сразу же или вскоре после их падения.

Метеориты, долго пролежавшие в Земле, под влиянием атмосферных и почвенных агентов разрушается с поверхности. В результате кора плавления окисляется, выветривается и превращается в кору окисления или выветривания, принимая уже совершенно иной вид и свойства.

Вторым основным, внешним признаком метеоритов является наличие на их поверхности, характерных углублений – ямок, напоминающих как бы отпечатки пальцев в мягкой глине и называемых регмаглиптами или пьезоглиптами. Они имеют округлую, эллиптическую, полигональную или, наконец, сильно вытянутую в виде желобка форму. Иногда встречаются метеориты с совершенно гладкими поверхностями, совсем не имеющие регмаглиптов. Они очень напоминают по своему виду обычные булыжники. Регмаглиптовый рельеф полностью зависит от условий движения метеорита в земной атмосфере.

Плотность метеоритов

- Метеориты разных классов резко отличаются по плотности. Используя измерения плотности отдельных метеоритов, произведенных различными исследователями, были получены следующие средние значения для каждого класса:

Железные метеориты – пределы от 7,29 до 7,88 г/см³; среднее значение – 7,72;

Палласиты (среднее значение) – 4,74;

Мезосидериты – 5,06;

Каменные метеориты – пределы от 3,1 до 3,84; среднее значение – 3,54;

Как видно из приведенных данных, даже каменные метеориты в большинстве случаев оказываются заметно тяжелее земных горных пород (вследствие большого содержания включений никелистого железа).

Магнитные свойства метеоритов

- Еще одним отличительным признаком метеоритов являются их магнитные свойства. Не только железные и железокосменные метеориты, но и косменные (хондриты) обладают магнитными свойствами, то есть реагируют на постоянное магнитное поле. Это объясняется присутствием достаточно большого количества свободного металла – никелистого железа. Правда, некоторые довольно редкие типы метеоритов из класса ахондритов совершенно лишены металлических включений, или содержат их в незначительных количествах. Поэтому такие метеориты не обладают магнитными свойствами.

Химический состав метеоритов

•

Наиболее распространенными химическими элементами в метеоритах являются: железо, никель, сера, магний, кремний, алюминий, кальций, и кислород. Кислород присутствует в виде соединений с другими элементами. Эти восемь химических элементов и составляют основную массу метеоритов. Железные метеориты почти целиком состоят из никелистого железа, каменные – главным образом из кислорода, кремния, железа, никеля и магния, а железокаменные – приблизительно из равных количеств никелистого железа и кислорода, магния, кремния. Остальные химические элементы присутствуют в метеоритах в малых количествах.

Химический состав метеоритов

- **Железо Fe.** Является важнейшей составной частью вообще всех метеоритов. Даже в каменных метеоритах среднее содержание железа составляет 15,5%. Оно встречается как в виде никелистого железа, представляющего собой твердый раствор никеля и железа, так и в виде соединений с другими элементами, образуя ряд минералов: троилит, шрейберзит, силикаты и др.

Никель Ni. Всегда сопровождает железо и встречается в виде никелистого железа, а также входит в состав фосфидов, карбидов, сульфидов и хлоридов. Обязательное присутствие никеля в железе метеоритов составляет их характерную особенность. Среднее отношение $Ni:Fe=1:10$, однако у отдельных метеоритов могут наблюдаться значительные отклонения.

Кобальт Co. Элемент, наряду с никелем являющийся постоянной составной частью никелистого железа; в чистом виде не встречается. Среднее отношение $Co:Ni=1:10$, но так же как и в случае с отношением железа и никеля, в отдельных метеоритах могут наблюдаться значительные отклонения. Кобальт входит в состав карбидов, фосфидов, сульфидов.

Сера S. Содержится в метеоритах всех классов. Она присутствует всегда, как составная часть минерала троилита.

Химический состав метеоритов

- **Кремний Si.** Является важнейшей составной частью каменных и железокатенных метеоритов. Присутствуя в них в виде соединений с кислородом и некоторыми другими металлами, кремний входит в состав силикатов, образующих основную массу каменных метеоритов.
Алюминий Al. В отличие от земных горных пород, алюминий встречается в метеоритах в значительно меньших количествах. Он находится в них в соединении с кремнием как составная часть полевых шпатов, пироксенов и хромита.
Магний Mg. Является важнейшей составной частью каменных и железокатенных метеоритов. Он входит в состав основных силикатов и занимает четвертое место в ряду других химических элементов, содержащихся в каменных метеоритах.
Кислород O. Составляет значительную долю вещества каменных метеоритов, входя в состав силикатов, слагающих эти метеориты. В железных метеоритах кислород присутствует в качестве составной части хромита и магнетита. В виде газа кислород в метеоритах обнаружен не был.
Фосфор P. Элемент, всегда присутствующий в метеоритах (в железных – в большем количестве, в каменных – в меньшем). Он входит в состав фосфида железа, никеля и кобальта – шрейберзита, минерала, характерного для метеоритов
Хлор Cl. Встречается только в соединениях с железом, образуя характерный для метеоритов минерал – лавренсит.
Марганец Mn. Встречается в заметных количествах в каменных метеоритах и в виде следов – в железных.

Минеральный состав метеоритов

Главные минералы

Самородное железо: камасит (93,1%Fe; 6,7Ni; 0,2Co) и тэнит (75,3%Fe; 24,4Ni; 0,3Co)

Самородное железо метеоритов представлено главным образом двумя минеральными видами, являющиеся твердыми растворами никеля в железе: камаситом и тэнитом. Они хорошо различаются в железных метеоритах при травлении полированной поверхности пятипроцентным раствором азотной кислоты в алкоголе. Камасит травится несравненно легче тэнита, образуя характерный только для метеоритов рисунок.

Оливин. Оливин является наиболее распространенным силикатом в метеоритах. Оливин встречается в виде крупных оплавленных округлых каплеобразных кристаллов, иногда сохранивших остатки граней включенных в железе палласитов; в некоторых железокаменных метеоритах (например «Брагин») он присутствует в виде угловатых осколков таких же крупных кристаллов. В хондритах оливин находится в виде скелетных кристаллов, участвуя в сложении колосниковых хондр. Реже он образует полнокристаллические хондры, а также встречается в отдельных маленьких и более крупных зернышках, иногда в хорошо образованных кристаллах или в осколках. В кристаллических хондритах оливин – главная составная часть в мозаике кристаллобластических зерен, слагающая такие метеориты. Замечательно, что в противоположность земному оливину, почти всегда содержащему в твердом растворе небольшую примесь никеля (до 0,2-0,3% NiO) оливин метеоритов его почти или совсем не содержит.

- **Ромбический пироксен.** Ромбическому пироксену по распространенности принадлежит второе место среди силикатов метеоритов. Есть некоторые, правда, очень немногие метеориты, в которых ромбический пироксен является решительно преобладающей или главной составной частью. Ромбический пироксен иногда представлен не содержащим железо энстатитом (MgSiO_3), в других случаях его состав отвечает бронзиту $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ или гиперстену $(\text{Fe,Mg})\text{SiO}_3$ с (12-25% FeO).
Моноклинный пироксен. Моноклинный пироксен в метеоритах значительно уступает по распространенности пироксену ромбическому. Он составляет существенную часть редкого класса метеоритов (ахондритов), таких как: кристаллически-зернистых эвкритов и шерготитов, уреилитов, а также мелкообломочных брекчиевидных говардитов, т.е. полнокристаллических или брекчиевидных метеоритов, по минералогическому составу близко отвечающих очень распространенным земным габбро-диабазам и базальтам.

- **Плагиоклаз.** Плагиоклаз встречается в метеоритах в двух существенно различных формах. Он является вместе с моноклинным пироксеном существенным минералом в ахондритах.

Стекло. Стекло представляет важную часть каменных метеоритов, особенно хондритов. Оно почти всегда содержится в хондрах, а некоторые из них целиком состоят из стекла. Стекло встречается также в виде включений в минералах. В некоторых редких метеоритах стекло обильно и составляет цемент, связывающий другие минералы. Стекло обыкновенно имеет цвет бурый до

Вторичные минералы

- **Маскелинит** – прозрачный, бесцветный, изотропный минерал, имеющий состав и показатель преломления такой же, как у плагиоклаза. Одни считают маскелинит плагиоклазовым стеклом, другие – изотропным кристаллическим минералом. Он встречается в метеоритах в тех же формах, что и плагиоплаз и свойственен только метеоритам.

Графит и «аморфный углерод». Углистые хондриты пронизаны черным, матовым, пачкающим руки углистым веществом, которое после разложения метеорита кислотами остается в нерастворимом остатке. Его описывали как «аморфный углерод». Исследование этого вещества взятого из метеорита Старое Борискино показало, что этот остаток представляет главным образом графит.

Акцессорные минералы

• **Троилит** (FeS). Сульфид железа – троилит – является в метеоритах чрезвычайно распространенным акцессорным минералом. В железных метеоритах троилит встречается преимущественно в двух формах. Наиболее распространенным видом его нахождения являются крупные (от 1-10 мм) в диаметре каплеобразные включения. Вторая форма – тонкие пластинки, вросшие в метеорит в закономерном положении: по плоскости куба первоначального кристалла железа. В каменных метеоритах троилит рассеян в виде мелких ксеноморфных зерен, таких же, как зерна встречающегося в этих метеоритах никелистого железа.

Шрейберзит ($(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_3\text{P}$). Фосфид железа и никеля – шрейберзит - неизвестен среди минералов земных горных пород. В железных метеоритах он является почти постоянно присутствующим акцессорным минералом. Шрейберзит – белый (или слегка серовато-желтоватый) минерал с металлическим блеском, твердый (6,5) и хрупкий. Шрейберзит встречается в трех основных формах: в виде пластинок, в виде иероглифических включений в камасите и в виде игольчатых кристалликов.

Хромит (FeCr_2O_4) и **магнетит** (Fe_3O_4). Хромит и магнетит представляют распространенные акцессорные минералы каменных и железных метеоритов. В каменных метеоритах хромит и магнетит встречаются в зернах подобно тому, как они встречаются и в земных горных породах. Хромит более распространен; среднее количество его, вычисленное из среднего состава метеоритов составляет около 0,25%. Неправильные зерна хромита присутствуют в некоторых железных метеоритах, а магнетит, кроме того, входит в состав коры плавления (окисления) железных метеоритов.

- **Лавренсит** (FeCl_2). Лавренсит, имеющий состав хлористого железа, представляет собой минерал довольно распространенный в метеоритах. В лавренсите метеоритов содержится также никель, отсутствующий в тех продуктах земных вулканических эффузий, где имеется хлористое железо, присутствующее, например, в изоморфной смеси с хлоридом магния. Лавренсит – минерал неустойчивый, он очень гигроскопичен и расплывается, находясь в воздухе. В метеоритах он был обнаружен в виде маленьких зеленых капелек, встречающихся как выпадения в трещинках. В дальнейшем он буреет, принимает буро-красную окраску, и далее превращается в ржавые водные окислы железа.

Апатит ($3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$) и **мерриллит** ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$). Фосфат кальция – апатит, или кальция и натрия – мерриллит, по-видимому, являются теми минералами, в которых заключен фосфор каменных метеоритов. Мерриллит неизвестен среди земных минералов. Он очень похож на апатит по своему виду, но встречается обычно в ксеноморфных неправильных зернах.

- Повышение интереса ученых к исследованию метеоритов и детальность подхода проводимых ими исследований наглядно демонстрирует диаграмма увеличения числа минералов, установленных во внеземном веществе на протяжении последних 100 лет.

В результате многочисленных исследований выяснилось, что далеко не все метеориты - производные процесса дифференциации вещества на планетарных телах.

Многие представляют собой брекчии, отдельные обломки которых не могли образоваться в пределах единого родительского тела. Например, хорошо известный метеорит Kaidun содержит в своем составе обломки разных типов метеоритов, образование которых протекало при существенно различающихся окислительно-восстановительных условиях.

В метеорите Adzi-Bogdo установлено одновременное присутствие ультраосновных и кислых (по составу) ксенолитов. Находка последних говорит о крайне высокой степени дифференциации вещества на родительских телах, а значит, и об их относительно больших размерах.

Когда родились и когда встретились с землёй метеориты

- В настоящее время возраст пород земной коры обычно определяют по скорости распада радиоактивных химических элементов, которые в них содержатся. Когда же начали применять эти методы к метеоритам, то оказалось, что можно узнать время не только их рождения, но и ещё двух основных событий их жизни: время блуждания метеорита в космосе (от разрушения родительского космического тела до встречи с Землёй) и время падения на Землю. Наиболее постоянен возраст метеоритов: большинство их родилось 4,6—4,7 млрд. лет назад. Это указывает на то, что их вещество образовалось одновременно с планетами Солнечной системы. Однако имеется группа хондритов, возраст которых много меньше — 0,65—1,4 млрд. лет.
- Время блуждания метеоритов в космосе колеблется очень сильно: дольше всех скитался до встречи с Землёй железный метеорит Дип Спринг (США) — 2,3 млрд лет (!); меньше всех — хондрит Фармингтон (США): лишь 25 тыс. лет.
- Время падения метеоритов на Землю также очень различно. Самый ранний из известных нам — хондрит Брунфло — 463 млн. лет назад погрузился в мягкий известковый ил на дне моря, которое располагалось на месте Швеции, и спокойно долежал до наших дней. Несомненно, были и более ранние падения, но нам они пока неизвестны. Что же касается самых поздних падений, то каждый год о них появляются публикации в газетах, и список новых метеоритов всё время пополняется.

Откуда приходят небесные гости

- Определить орбиту, по которой движется метеорит к точке встречи с Землёй, очень трудно. При случайных наблюдениях без инструментов и приспособлений или по рассказам очевидцев не удаётся получить достаточно точные характеристики орбит. Но это оказалось возможным при использовании сложных фотографирующих установок, объединённых в специальные (так называемые болидные) сети. С их помощью удалось точно установить орбиты и скорости движения трёх метеоритов: Пршибрам (7 апреля 1959 г., Чехия), Лост-Сити (4 января 1970 г., США) и Инисфри (5 февраля 1977 г., США). Кроме того, было рассчитано много тысяч орбит метеоров — космических частиц, которые полностью сгорели в атмосфере. Эти точные измерения позволили установить, что большая часть метеоритов приходит на Землю из пояса малых планет — астероидов, которые движутся вокруг Солнца между Марсом и Юпитером. Их диаметр от нескольких десятков метров до 1020 км (у крупнейшей из малых планет Цереры). Оказалось, что метеориты — это их обломки.

Однако не все метеориты — осколки астероидов. Некоторые ахондриты выделяет из числа прочих метеоритов не только их малый возраст образования (не более 1,3—1,4 млрд . лет вместо 4,5—4,6 млрд. лет у преобладающей массы небесных странников), но и другие свойства. Эти метеориты родились на более крупном, чем астероиды, космическом теле, в среде, обогащенной кислородом. По составу газы, содержащиеся в таких метеоритах, близки к атмосфере Марса. Эти особенности и привели к мнению, что подобные метеориты были выброшены с Марса при его столкновении с астероидами.

В 1983 г. среди антарктических метеоритов тоже были найдены непохожие на остальные. Их изучение показало, что они вырваны из тела нашей небесной спутницы — Луны — при ударах гигантских метеоритов. Здесь уже можно напрямую сопоставлять эти обломки из Антарктиды с породами лунных «морей» и «равнин» т.к. десятки килограммов лунных пород доставлены на Землю астронавтами США и советскими автоматическими станциями. Среди более дюжины «лунных» метеоритов уже известны образцы как с видимой, так и с обратной стороны Луны. Пространствовал в космосе от 100 тыс. до 10 млн. лет, они приземлились в Антарктиде в разное время — от 140—150 тыс. до 43 тыс. лет назад.

И наконец, нельзя не сказать ещё об одном типе метеоритов — остатках комет. Собственно» метеорит такого рода известен только один — Тунгусский, а о его веществе имеются лишь самые общие данные. Хорошо известна связь с кометами метеорных потоков, появляющихся в определённые сроки с закономерными интервалами. Например, поток Леонид (наблюдающийся ежегодно в середине ноября) по параметрам своего движения хорошо соответствует комете 1866 I, августовский поток Персеид — комете 1862 П, октябрьские Дракониды близки комете 1926 VI (или Джакобини — Циннера), июньские бета-Тауриды — комете Энке. Именно этому метеорному потоку и его прародительнице комете Энке оказался очень близок Тунгусский метеорит, взорвавшийся над Землёй ранним утром 30 июня 1908 г. Яркая вспышка (взрыв) в конце линии метеора — характерная особенность кометных метеорных потоков. Это легко понять, т.к. вещество комет (их ядер) является смесью льда и каменного материала. В феврале 1986 г. ядро кометы Галлея впервые было изучено автоматической станцией «Вега». При движении мимо Солнца комета нагревается, лёд в её ядре испаряется, и образуется газовый хвост кометы. Когда Земля проходит через хвост кометы, эти камни сгорают в её атмосфере, образуя светящиеся следы — метеоры.

Тунгусский метеорит, вероятно, был крупным обломком ядра кометы Энке. Поэтому так страшен был его взрыв в воздухе и так мало обломков достигло планеты. Лишь мелкие частицы удалось отыскать в 1978 г. в «катастрофном» слое торфа, образовавшемся в 1908 г. в том месте, где траектория движения взорвавшегося тела встречается с Землёй. Их длительное детальное изучение показало, что минералы очень схожи с аналогичными минералами метеоритов, а входящие в их состав алмаз и графит не похожи на земные.

Для чего изучают метеориты?

- Можно смело утверждать, что метеориты дают нам возможность изучать вещество и историю Солнечной системы. Самые древние порции этого вещества имеются в ядрах комет. Метеориты, пришедшие к нам от астероидов, позволяют исследовать более поздние стадии развития. Марсианские и лунные метеориты рассказывают нам об ещё более поздних процессах в космосе.
- Таким образом, сбор и изучение метеоритов на Земле — ещё один шаг к познанию Вселенной и, в частности, прошлого нашей планеты.



Метеорит Богуславка

Гексаэдрит.

Камасит (Fe+Ni).

Вес частей - 198.6 и 58.1 кг.

Упал в России 18.10.1916 года.

<http://www.fmm.ru/meteorites/bogus.htm>

(Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва)



Метеорит Сыромолотово

Октаэдрит.

Вес 217 кг.

Найден в 1873 г.

<http://www.fmm.ru/meteorites/syromolotovo.htm>

(Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН, Москва)



Метеорит Брагин

Палассит

Вес 66,383 кг

Находка 1807(?)г.

<http://www.fmm.ru/meteorites/bragin.html>



Метеорит Будулан

Мезосидерит

Вес около 110 кг

Найден в 1902 г.

<http://www.fmm.ru/meteorites/budulan.html>



**Метеорит Мордвиновка
(Россия)**

Вес 33.1 кг.
Упал в 1826 г.

<http://www.fmm.ru/meteorites/mordvinovka.html>



**Метеорит Каинсаз
(Россия)**

Вес - 102.5 кг,
Упал 13.09.1937

<http://www.fmm.ru/meteorites/kainsas.htm>



<http://www.electricuniverse.com/eye/index.php?level=picture&id=1486>

$\text{Fe}_{91}\text{-Ni}_{7,6}$ метеорит Вилламетт (шт. Орегон, США) Вес 15,5 т



15-34

Приобретен в 1905 году миссис
Уильям Е. Додж за \$ 26000 для
Американского Музея
Естествознания

<http://www.electricuniverse.com/eye/index.php?level=picture&id=1483>

Найден в 1902 г.
Эллисом Хьюзом



Кавернозный
метеорит
Вилламетт
(США)