

ПРОИСХОЖДЕНИЕ МЕТЕОРИТОВ

В. Н. Анфилогов¹, Ю. В. Хачай²

¹ – *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, anfilogov@mineralogy.ru*

² – *Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, yu-khachay@yandex.ru*

Главным источником информации о составе вещества, которое образуется в протопланетном облаке в процессе конденсации, являются метеориты. Эта информация используется во всех моделях образования планет, но в то же время сами метеориты рассматриваются в них как некое первичное вещество, которое имеет самостоятельную историю образования и эволюции. Нам представляется, что такой подход не только не соответствует той роли, которую играло метеоритное вещество в образовании планет, но и не объясняет многие особенности минерального состава, структуры и термической истории этого вещества. Все без исключения гипотезы образования метеоритов предполагают, что их источником были первичные тела планетарного или астероидного размеров, при разрушении которых образовались обломки, которые поступают на поверхность Земли в виде метеоритов.

А. Е. Рингвуд [Ringwood, 1961] предположил, что существовала некая «метеоритная» планета, которая имела состав сходный с составом углистых хондритов. Температура в ее внутренней области превышала 1170 К и почти все ее вещество прошло через стадию плавления. Г. Юри считал, что существовали две последовательных генерации тел. Первичные тела аккумуляровались при низкой температуре и имели лунный или больший размер. Тела разогревались с образованием локальных очагов плавления. Железные, железо-каменные метеориты и ахондриты образовались при разрушении первичных тел, а вторичные тела и хондриты путем аккумуляции раздробленного вещества, образованного при разрушении первичных тел [Urey, 1959]. Гипотеза образования метеоритов в телах астероидного размера была также предложена Р. А. Фишем и др. [Fish et al., 1960]. Они предположили, что вещество астероидов за счет действия случайных источников было разогрето до температуры плавления и продифференцировано.

Основные проблемы, возникающие при попытке объяснить природу и разнообразие метеоритного вещества, обусловлены тем, что образование и эволюция родительских тел, которые являются источниками метеоритного вещества, рассматривается в них вне связи с процессом формирования планет. В значительной мере это обусловлено тем, что гипотеза гомогенной аккумуляции планет из холодного газово-пылевого облака не позволяет объединить эти процессы таким образом, чтобы получить все разнообразие условий образования и состава метеоритного вещества. Предложенный нами вариант дифференциации вещества на раннем этапе формирования Земли и разработанная на его основе модель эволюции ядра и силикатных оболочек в процессе гетерогенной аккумуляции, позволяют по-новому рассмотреть процессы формирования метеоритного вещества и согласовать их с процессом образования планет солнечной системы.

Гетерогенная аккумуляция планет заключается не только в осаждении конденсированного вещества на поверхность растущей планеты. Она сопровождается разрушением планетезималей при их столкновении друг с другом и выбросом вещества с поверхности планет при ударах крупных планетезималей. Из этого материала в зоне питания планеты формируются новые планетезимали и родительские тела метеоритов. Кроме материала, выброшенного с поверхности растущей планеты, в состав этих тел входили также продукты конденсации, которые появлялись в протопланетном облаке при понижении его температуры. Поэтому процесс гетерогенной аккумуляции должен быть тесно увязан с составом метеоритов и последовательностью формирования метеоритного вещества.

Наиболее простое объяснение получает процесс образования железных метеоритов и палласитов. Фрагменты, имеющие состав железных метеоритов образуются при столкновении первичных зародышей. Скорее всего, после столкновения они представляли собой небольшие тела, успевшие остыть до температуры ниже температуры плавления железа. Согласно последовательности конденсации минералов из газовой фазы конденсация железа могла происходить одновременно с оливином и в первичных зародышах планет на границе расплавленной железной и твердой силикатной оболочек формировался слой, близкий по составу к палласитам. Из этого материала при столкновении первичных зародышей формировались палласиты. Наличие в палласитах крупных округлых кристаллов оливина, равномерно распределенных в железо-никелевой матрице, свидетельствует о том, что этот материал прошел стадию полного плавления. Другим способом получить такую структуру невозможно. Разделение вещества на железную и силикатную составляющие произошло в них в расплавленном состоянии, вследствие несмесимости железного и силикатного расплавов.

В рамках модели гетерогенной аккумуляции планет образование различных по составу и структуре хондр объясняется следующим образом. После того как основная масса железа сконцентрировалась в ядре растущей планеты, на ее поверхности отлагаются более низкотемпературные конденсаты: диопсид, анортит и энстатит. Вместе с этими фазами на поверхность планеты поступают обломки, образованные при разрушении первичных зародышей: капли железа, обломки палласитового состава и высокоглиноземистый материал, выброшенный из центральных частей первичных зародышей. Все это отлагается на поверхность ядра, разогретую до температуры, значительно превышающей температуру ликвидуса силикатов. В результате этого между ядром и поверхностью растущей планеты возникает слой расплава, перекрытый относительно тонким слоем твердого рыхлого материала. В этом слое присутствуют все компоненты, необходимые для формирования обыкновенных и энстатитовых хондритов и все условия для формирования типичной для этих метеоритов структуры. Таким образом, рост планет и формирование метеоритного вещества представляли собой единый процесс, в котором конденсация из газовой фазы, осаждение сконденсированного вещества на растущую планету, выброс части осажденного материала в зону питания и формирование из него метеоритного вещества происходили одновременно. Наиболее наглядно это проявилось в составе углистых хондритов. СО и CV хондриты характеризуются высоким содержанием высокотемпературных фаз и большим их разнообразием и их можно рассматривать как переходные различия между обыкновенными и углистыми хондритами. В CM хондритах высокотемпературные фазы составляют 33–50 % и представлены оливином, пироксеном, Ca-Al силикатным стеклом, а также гибонитом, перовскитом и шпинелью [Brearley, Jones, 1998]. Состав матрицы CM хондритов аналогичен составу матрицы хондритов CI. В хондритах CI матрица составляет 99 % объема. Сложна она наиболее низкотемпературными конденсатами: водными силикатами, магнетитом и углеродом в форме органических соединений.

Особое место в составе метеоритного вещества занимают CAI – светлые включения высокотемпературного вещества, состоящие из мелилита и шпинели [Brearley, Jones, 1998]. Согласно модели гетерогенной аккумуляции этот материал, преимущественно в расплавленном состоянии, был выброшен в область питания при столкновении первичных зародышей планет [Анфилогов, Хачай, 2005; Anfilogov, Khachay, 2009]. Эти включения наиболее часто встречаются в углистых хондритах СО и CM типов, сложенных преимущественно низкотемпературным материалом и очень редко в обыкновенных хондритах, в которых преобладает материал, прошедший через стадию плавления или высокотемпературного метаморфизма.

Важную информацию о последовательности формирования метеоритного вещества дают данные абсолютного возраста. Образование метеоритного вещества проис-

ходило в течение всего времени аккумуляции планет. При этом состав материала, из которого образовывалось это вещество и его возраст, непрерывно изменялись. Многие метеориты представляют собой полимиктовую брекчию, в состав которой входят фрагменты метеоритного вещества, образованные на разных стадиях аккумуляции планет. Возраст этих фрагментов может различаться на десятки миллионов лет. Наиболее древним веществом солнечной системы считаются Са-А1 включения в метеоритах Алленде и Ефремовка. По последним данным их возраст, определенный U-Pb методом варьирует в пределах 4568.6–4567.2 млн лет [Amelin, 2009]. Согласно гипотезе гетерогенной аккумуляции, этот материал входил в состав центральных частей первичных зародышей планет. При их разрушении и образовании вторичных зародышей планет он вместе с расплавленными фрагментами железных оболочек выбрасывался в зону питания планеты. Разница в возрасте железных метеоритов и включений СА1 по данным ^{187}Re - ^{187}Os изотопии варьирует от 0 до 3 млн лет [Kleine et al., 2005]. Интересные данные получены по возрасту хондр и матрицы углистых хондритов. Оказалось, что матрица примерно на 50–60 млн лет моложе хондр и агрегатов [Додд, 1986.]. Это согласуется с тем, что в углистых хондритах в состав матрицы входят наиболее поздние низкотемпературные конденсаты, которые цементируют фрагменты материала, образованного на начальной и последующей стадиях роста планеты. Таким образом, можно построить следующую возрастную последовательность образования метеоритного вещества: материал СА1 и железных метеоритов → материал обыкновенных хондритов (Н → L → LL) → матрица углистых хондритов CI. Разницу в возрасте хондр и матрицы углистых хондритов можно рассматривать как время, в течение которого происходила конденсация вещества в протопланетном облаке.

Литература

- Anfilogov V. N., Khachay Yu. B.* Возможный вариант дифференциации вещества на начальном этапе формирования Земли // Доклады РАН. 2005. Т. 405. № 6. С. 803–806.
- Dodd P. T.* Метеориты. Мир. 1986. 384 с.
- Amelin Y., Connelly J., Zartman R. E., Chen C. Go, Neymark L. A.* Modern U-Pb chronometry of meteorites: Advancing to higher time resolution reveals new problems // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2009. V. 73. P. 5212–5223.
- Anfilogov V. N., Khachay Y. V.* The mechanism of the Earth core and silicate envelopes formation // *Deep seated magmatism, its sources and plumes*. Vladivostok, Irkutsk, 2008. Proceedings of VIII International workshop. P. 5–13.
- Brearley A. J., Jones R. H.* Chondrite meteorites // *Rev. Min.* 1998. V. 36. P. 3–83, 3–190.
- Fish R. A., Goles G. G., Anders E.* The record in the meteorites. III. On the development of meteorites in asteroidal bodies. *Astrophys. J.* 1960. V.132. P. 243-258.
- Kleine T., Mezger K., Palme H., Scherer E., Munker C.* Early core formation in asteroids and late accretion of chondrite parent bodies: Evidence from ^{182}Hf - ^{182}W in CAIs, metal-rich chondrites, and iron meteorites // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2005. V. 69, № 24. P. 5805–5818.
- Ringwood A. E.* Chemical and genetic relationships among meteorites // *Geochim. et Cosmochim. Acta*. 1961. V. 24. № 2. P. 159–157.
- Urey H.C.* Primary and secondary objects // *J. Geophys. Res.* 1959. V. 64. P. 1721–1737.