

Ксенолиты земного ядра в Сибирских траппах

Шкодзинский В.С.

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, Якутск, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru

Аннотация. Анализ данных о горячей гетерогенной аккреции Земли свидетельствует, что при аккреции мантии на дне магматического океана при падении крупных планетезималей возникали импактные впадины. Компрессионная кристаллизация заполнявших их придонных основных расплавов магматического океана привела к образованию в мантии тел эклогитов. В пограничных с ядром частях мантии в импактные углубления и в сформированные в них эклогиты попадали ксенолиты ядра. Всплывание и декомпрессионное плавление эклогитов привело к образованию траппов, содержащих иногда тела самородного железа. Огромная сила импактных ударов обусловила преимущественно большую массу (до десятков тонн) образовавшихся ксенолитов и тел самородного железа в траппах. Железные метеориты имеют признаки образования в результате разрушения ядер мелких планет. Близкое происхождения объясняет большое сходство состава самородного железа в траппах и железных метеоритах. Образование из самых внешних поздних частей земного ядра, возникших из более низкотемпературных конденсатов протопланетного диска, является причиной повышенного содержания железа в траппах по сравнению с метеоритами низкотемпературных конденсатов и пониженного высокотемпературных. Декомпрессионное затвердевание основных магм после вскипания на приповерхностной стадии всплывания объясняет неоседание тел высокоплотного железа, приуроченность их к декомпрессионно затвердевавшим верхним частям долеритовых интрузий и отсутствие в размещающихся на земной поверхности базальтах, где этого затвердевания не было.

Ключевые слова: самородное железо, траппы, земное ядро.

Xenoliths of the Earth's core in Siberian traps

Shkodzinsky V.S.

Institute of Geology of Diamond and Noble Metals SB RAS, Yakutsk, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru

Abstract. The analysis of data on hot heterogeneous accretion of the Earth indicates that the accretion of the mantle at the bottom of the magmatic ocean during the fall of large planetesimals produced impact depressions. Compression crystallization of the magmatic ocean bottom basic melts that filled them up produced eclogite bodies in the mantle. Xenoliths of the core got into impact hollows and eclogites they formed in the parts of the mantle bordering the core. Surfacing and decompressive melting of eclogites produced trap bodies that sometimes contain native iron bodies. The tremendous impact force mainly generated large masses (up to tens of tons) of resulting xenoliths and bodies of native iron in the traps. Iron meteorites show signs of formation in result of the nuclei destruction in small planets. The close origin explains the great similarity of the composition of native iron in traps and iron meteorites. Formation from the outermost later parts of the Earth's core, arising from the lower-temperature condensates of the protoplanetary disk, is responsible for the higher iron content of traps compared to meteorites of low-temperature condensates and lower high-temperature condensates. Decompressive solidification of basic magmas after boiling at the near-surface surfacing stage explains the non-sedimentation of high-density iron bodies, their confinement to decompressively solidified upper parts of dolerite intrusions and their absence in the Earth surface basalts, where this solidification did not occur. Keywords: native iron, trap rocks, terrestrial core.

Keywords: native iron, trap rocks, terrestrial core.

Введение

Загадочной особенностью траппов является присутствие в них в ряде случаев преимущественно крупных (десятки – сотни килограмм) включений самородного железа. В других магматических породах его выделения очень мелкие (обычно миллиметры) и имеют признаки образования в результате реакций между фазами с различной окисленностью железа. В траппах же встречаются тела железа массой до десятков тонн. Обычно предполагается образование этого железа путем ассимиляции углеродсодержащих осадочных пород или в результате гипотетического подъема потоков водорода. Однако в участках присутствия самородного железа нет углеродсодержащих пород, а там где они есть, нет самородного железа. Ярким примером является Ногинское графитовое месторождение. На нем под влиянием интрузии долеритов угольный пласт превратился в графит (Олей-

ников и др., 1985). Но самородного железа нет даже в непосредственном эндоконтакте. Пониженное содержание литофильных компонентов в участках присутствия самородного железа также противоречит предположению об ассимиляции осадочных пород.

Известно, что даже некоторые малоглубинные осадочные породы непроницаемы для нефти, воды и газов и создают ловушки для них. Поэтому в глубинных условиях, где поры и трещины закрыты под влиянием очень высокого давления и температуры, существование потоков водорода не вероятно. Фугитивность кислорода в мантийных породах в двадцать тысяч раз выше, чем необходимо для устойчивости самородного железа (O'Neil, 1990). Поэтому в случае появления водорода из неизвестного источника он быстро бы окислился под влиянием мантийных пород. Образовавшаяся вода привела бы к плавлению этих пород. В случае большого объема водорода верхняя мантия полностью расплавилась бы и континенты утонули в ней. Присутствие существенно водородных включений в самородном железе (Олейников и др., 1985) не доказывает существование потоков этого компонента, так как этот металл неизбежно восстанавливает воду и ее включения превращаются в водородные при любом генезисе железа.

Происхождение самородного железа

Для выяснения генезиса самородного железа необходимо учесть, что при аккреции мантии на дне магматического океана возникали импактные углубления, которые заполнялись придонным основным расплавом. Затвердевание этого расплава обусловило образование тел эклогитов в мантии. Всплывание и декомпрессионное плавление этих тел привело к образованию магм траппов. Наибольшее количество импактных углублений на дне синаккреционного магматического океана возникало на ранней стадии аккреции мантии, поскольку в это время океан имел минимальную глубину и ударная волна от падения крупных тел легко достигала его дна. Очевидно, что самые ранние импактные кратеры могли достигать подстилавшего раньше возникшего железного ядра, дробить его и выбрасывать обломки в кратеры. Вследствие огромной силы ударов размер обломков мог быть очень большим. Последующее всплывание и декомпрессионное переплавление тел основных пород с ксенолитами земного ядра привело к образованию траппов с обычно крупными телами самородного железа.

Механическое воздействие вмещающих основных пород при подъеме, а на малоглубинной стадии – магм обусловило округлую (обычно караваеобразную) форму тел железа. Преимущественно твердофазное состояние основных пород привело к неоседанию высокоплотных ксенолитов на глубинных стадиях подъема. Быстрое декомпрессионное затвердевание возникших магм после вскипания на приповерхностных стадиях подъема является причиной неоседания ксенолитов в малоглубинных условиях, присутствия их преимущественно в верхних частях интрузий и прекращения подъема магм. Декомпрессионное затвердевание не происходило в среднем в более высокотемпературных излившихся магмах базальтов. Это объясняет присутствие тел самородного железа только в интрузивных долеритах и их отсутствие в эффузивных базальтах.

Железные метеориты также являются обломками ядер разрушившихся мелких планет. Значительная общность исходного вещества объясняет близость самородного железа по составу к железным метеоритам (рис. 1). Например, в Джалтульском интрузиве на Сибирской платформе содержание в железе никеля, наиболее типичного элемента железных метеоритов, достигает 5–7 %, что близко к среднему его содержанию (8.5 %) в метеоритах. В железе этого интрузива установлено присутствие встречающихся только в метеоритах клифтонита, тэнита и тетратэнита. Присутствуют также типичные для метеоритов когенит (Fe_3C), троилит (FeS), шрейберзит (Fe_3P), армоколлит ($(Mg,Fe)Ti_2$) (Олейников и др., 1985).

Вследствие постепенного снижения температуры протопланетного диска внешние поздние части земного ядра, в которых сформировалось железо траппов, должны быть обогащены низкотемпературными конденсатами. Железные метеориты образовались из различных частей ядер мелких планет. Поэтому в случае ксеногенного происхождения железа траппов оно должно отличаться от железных метеоритов чаще всего пониженным содержанием высокотемпературных конденсатов протопланетного диска и повышенным – низкотемпературных. Действительно, наиболее высокотемпературных Os и Ir (температура конденсации соответственно около 1327 и 1127 °C) в земном же-

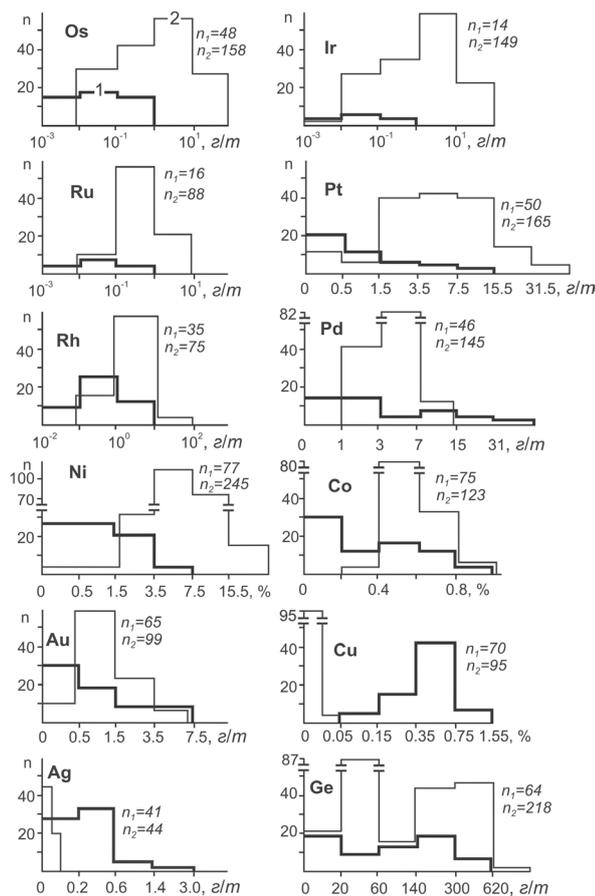


Рис. 1. Гистограммы содержания сидерофильных элементов в земном (1) и метеоритном (2) железе (Шкодзинский, 2003).

Fig. 1. Histograms of the content of siderophile elements in terrestrial (1) and meteoritic (2) iron (Shkodzinsky, 2003).

с вмещающими магмами. Поэтому железистость темноцветных минералов траппов должна увеличиваться с приближением к телам железа. В случае гипотетического образования путем восстановления его оксида железистость темноцветов должна наоборот уменьшаться в этом направлении, так как железо должно было извлекаться на формирование его самородных выделений. Полностью подтверждается первый вариант. Оливин долеритового силла в кровле трубки Заря в Якутии содержит 42–46 % фаялитового компонента, а в самородном железе – 60–62 % (Томшин и др., 2019).

В самородном железе присутствует до 4.02 % углерода. Оно является чугуном и имеет температуру плавления около 1150–1200 °С. Она близка к температуре основных магм, поэтому наиболее богатое примесями железо должно было находиться в расплавленном состоянии в малоглубинных

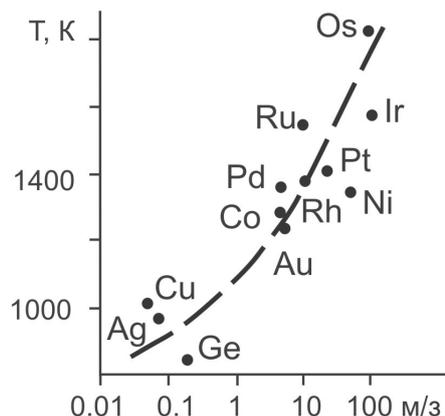
лезе обычно содержится примерно в 100 раз меньше, чем в метеоритном (рис. 2). Содержание Au (с температурой конденсации около 927 °С) лишь примерно в 8 раз меньше. Количество относительно низкотемпературного Ag (около 577 °С), наоборот, в 12 раз больше, чем в метеоритном. Эти данные полностью подтверждают принадлежность тел земного железа к внешней части ядра.

Вследствие постепенного накопления в магматическом океане расплавофильных компонентов содержание их в мантии увеличивается от нижних ранних частей к верхним поздним. Поэтому, если железосодержащие основные породы сформировались из вещества самых нижних частей мантии, то они должны содержать минимальное количество расплавофильных компонентов. Это полностью согласуется с эмпирическими данными. Например, в Хунтуканском интрузиве Сибирской платформы среднее содержание расплавофильного K_2O по 29 определениям равно 0.39 % (Олейников и др., 1985), что в 2–3 раза меньше, чем в основных породах, не содержащих тела самородного железа. Существенно ниже в железосодержащих основных породах количество натрия, фосфора и воды, поскольку они также являются поздними расплавофильными компонентами. Но MgO содержится намного больше (в среднем 8.93 %) по сравнению с основными породами без самородного железа (6.60 %), так как этот компонент имеет расплавофобные свойства.

В случае ксеногенного происхождения железа оно было резко химически не равновесно

Рис. 2. Зависимость величины отношений наиболее распространенных (максимумов на гистограммах) содержаний сидерофильных элементов в метеоритном и земном железе (m/e) от температуры конденсации этих элементов (Т, К) в протопланетном диске. Пунктир – средняя линия корреляции (Шкодзинский, 2003).

Fig. 2. Dependence of ratios of the most common (maximums on the histograms) contents of siderophile elements in meteorite and terrestrial iron (m/e) on the condensation temperature of these elements (T, K) in the protoplanetary disk. The dotted line is the middle line of the correlation (Shkodzinsky, 2003).



условиях, где низкое давление способствовало плавлению. Это объясняет присутствие в траппах губчатых выделений, в которых округлые зерна («капли») железа тесно соприкасаются. Вследствие диффузии в силикатный расплав содержание примесей в этом железе сильно уменьшилось для никеля примерно в 7, для платины в 13, для осмия в 11 раз. Отсутствие обеднения примесями свидетельствует, что крупные тела железа не были расплавленными. Это, видимо, связано с быстрым декомпрессионным затвердеванием магм после вскипания в малоглубинных условиях.

О составе земного ядра

Полученные данные о происхождении тел самородного железа в траппах впервые позволяют на основании эмпирических данных оценить состав земного ядра и источник энергии мощных геологических процессов. Больше всего, до 7 %, в самородном железе содержится никеля. Затем следуют С (до 4.02 %), Со (до 1.22 %), Си (до 0.97 %). Содержания других элементов составляют первые десятые – сотые доли процента. Эти данные указывают, что пониженная по сравнению с чистым железом скорость распространения сейсмических волн в земном ядре обусловлена содержанием примесей многих, а не одного элемента Si, как иногда предполагалось.

В железе не обнаружены минералы радиоактивных элементов и следы аннигиляции антивещества. Поэтому высокая температура ядра и конвекция в мантии обусловлена не термоядерными процессами, как иногда предполагалось (Пучков, 2009) а является изначальной, связанной с быстрой аккрецией ядра с участием мощных магнитных сил. Быстрая аккреция резко сократила удельные потери импактного тепла на излучение в космическое пространство и обусловила на тысячи градусов большую его температуру по сравнению с позже возникшей мантией. Это является причиной существования конвекции в мантии, являющейся мощным двигателем геологических процессов. Подогрев мантии ядром сначала не приводил к возникновению в ней конвекции, так как на ранней Земле существовал обратный геотермический градиент (Шкодзинский, 2018). Конвекция началась в неопротерозое после прогрева мантии ядром.

Заключение

Таким образом, учет доказательств горячей гетерогенной аккреции Земли позволил получить согласующееся с эмпирическими данными решение генетических проблем крупных включений самородного железа в траппах и объяснить все их многочисленные особенности. Эти включения являются ксенолитами земного ядра, возникшими в наиболее ранних импактных кратерах на дне магматического океана при аккреции мантии. Образованием из внешних частей ядра обусловлены пониженное содержание в них высокотемпературных и повышенные низкотемпературных конденсатов протопланетного диска по сравнению с железными метеоритами.

Вынос магмами траппов ксенолитов земного ядра указывает, что конвекция в мантии является однослойной, а не многослойной, как часто предполагается. Он подтверждает более раннее образование ядра по сравнению с мантией и формирование магм траппов путем декомпрессионного переплавления дифференциатов магматического океана, поскольку в случае обычно предполагаемого образования их из выплавок верхней мантии они не могли бы выносить обломки ядра.

Литература

1. Олейников Б.В., Округин А. В., Томшин М.Д., Левашов В.К., Копылова А.Г., Панков В.Ю. Самородное металлообразование в платформенных базитах. Якутск. Изд-во: ЯНЦ СО РАН. 1985. 188 с
2. Пучков В.И. «Великая дискуссия» о плюмах: кто прав? // Геотектоника. 2009. № 1. С. 3–32.
3. Томшин М.Д., Салихов Р.Ф., Матушкин А.И., Маковчук И.В., Копылова А.Г. Самородное железо в Айхальском силле (первая находка в Якутии) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019. № 1. С. 3–32.
4. Шкодзинский В.С. Проблемы глобальной петрологии. Якутск. Изд-во: Сахаполиграфиздат. 2003. 240 с.
5. Шкодзинский В.С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли. Якутск. Изд-во: СВФУ. 2018. 244 с.
6. O'Neill, H.S. Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implication for the origin of the Earth // Meteoritics. 1990. V. 25. N. 4. P. 395.