

МОДЕЛИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ГАЛИЛЕЕВЫХ СПУТНИКОВ ЮПИТЕРА

О.Л.Кусков, В.А.Кронрод

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН, Москва

Вестник ОГТГН РАН № 5 (15) 2000 т.1

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/5-2000/planet8

Средние плотности галилеевых спутников Юпитера - Ио, Европы, Ганимеда и Каллисто - регулярным образом уменьшаются с увеличением расстояния от центрального тела, что указывает на более высокое содержание льда H_2O в составе внешних спутников. Обработка данных измерений гравитационного и магнитного полей галилеевых спутников, полученных в результате космического эксперимента миссии "Галилео", привела к определению важнейших геофизических характеристик, которые были использованы для построения моделей химического состава и внутреннего строения спутников Юпитера, включающих распределение температуры/ плотности в мантии при температурах и давлениях до 1500-1800 К и 40-70 кбар и оценки размеров металлических ядер.

Внутреннее строение спутников, состоящих из коры или ледяной оболочки, силикатной мантии и металлического Fe-FeS ядра, моделировалось на основе геофизической (тепловой поток, средняя плотность, масса, момент инерции) и геохимической (состав H, L, LL, CM, CV-хондритов) информации, а также термодинамических данных в системе $Na_2O-TiO_2-CaO-FeO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-Fe-FeS-H_2O$ (фазы: модификации железа и сульфида железа; минералы (твердые растворы) - плагиоклаз, оливин, ильменит, шпинель, гранат, орто-, клинопироксен) с учетом фазовой диаграммы H_2O , уравнений состояния и фазовых превращений льда I-VI при высоких давлениях. Задача решается методом Монте Карло. Просматривается вся область петрологически допустимых значений плотности в мантии и выбираются те значения $\rho_{min,i} < \rho_i < \rho_{max,i}$, для которых выполняются балансовые соотношения для массы и момента с соответствующей погрешностью. Затем из уравнения сохранения массы вычисляются размеры ядра [1,2].

На этой основе построены численные модели химического состава галилеевых спутников. Проведено их сопоставление с веществом метеоритов и показано, что валовый химический состав спутников соответствует составу обыкновенных (L, LL) хондритов (рис. 1-3). По совокупности геофизических и геохимических ограничений выявлены критерии окислительно-восстановительных условий и степени фракционирования металл/силикат (Fe/Si) во внешней части Солнечной системы. Определены размеры металлических ядер спутников (рис. 2), распреде-

ление плотности и минеральный состав мантии, количество H_2O в оболочках спутников. Содержание H_2O изменяется от полного отсутствия на Ио до 46-50 мас.% у Ганимеда и Каллисто. Внешняя оболочка Европы содержит всего 6-7% льда от массы планеты.

Мощность водно-ледяных оболочек изменяется от 120-140 км для Европы до 900-950 км для Ганимеда. Рассмотрены две возможные модели строения оболочки Ганимеда, рис. 3.

Модель (D) соответствует сплошному слою льдов высокого давления от поверхности до границы железокремнистого ядра мощностью 890-920 км. Чистый лед при температуре $< 251^\circ K$ остается в твердом состоянии на любой глубине. Рис. 3 показывает, что валовый состав железокремнистого ядра Ганимеда (без внешней ледяной оболочки) соответствует составу L-хондритов. Ганимед по модели (D) имеет массивное металлическое ядро: 820-900 км для эвтектики Fe-FeS (15-20% от массы железокремнистого ядра Ганимеда), 580-650 км для Fe-ядра (8-12%). Модель (B) показывает, что существование внутреннего водного океана не исключено, если железокремнистое ядро Ганимеда имеет валовый состав близкий к LL хондритам. Обе модели железокремнистого ядра Ганимеда по своему химическому составу подобны валовому составу Ио. Полученные данные по составу и строению Ганимеда позволяют сделать вывод, что магнитное поле Ганимеда может быть объяснено как существованием массивного металлического ядра, так и наличием жидкого внутреннего океана, содержащего электролиты.

Проведенные исследования показывают, что Ио, Европа и Ганимед прошли через стадию дифференциации с образованием коры (Ио) или водно-ледяных внешних оболочек (Европа, Ганимед), силикатной мантии и металлического ядра. Каллисто - недифференцированный спутник. На основе совокупности полученных данных оценены геохимические ограничения на процессы формирования спутников.

1. Кусков О.Л., Кронрод В.А. Модели внутреннего строения Ио. Геохимия. 1997, 1171-1180.
2. Кусков О.Л., Кронрод В.А. Модели внутреннего строения спутников Юпитера – Ганимеда, Европы и Каллисто. Астрон. Вестник, 1998, 32 (1) 49-57.

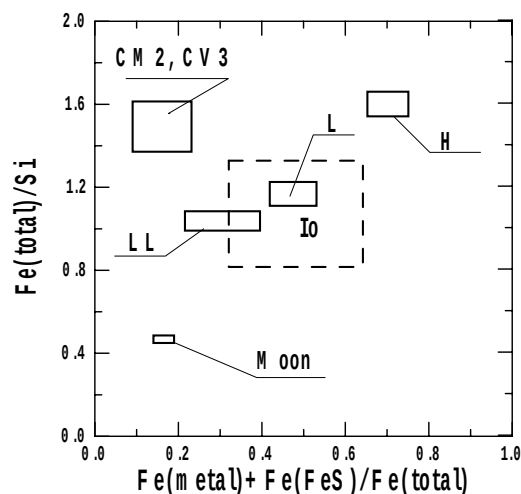


Рис. 1. Элементные массовые отношения в Ио, выведенные по геофизическим данным, в сравнении с таковыми для обыкновенных и углистых хондритов

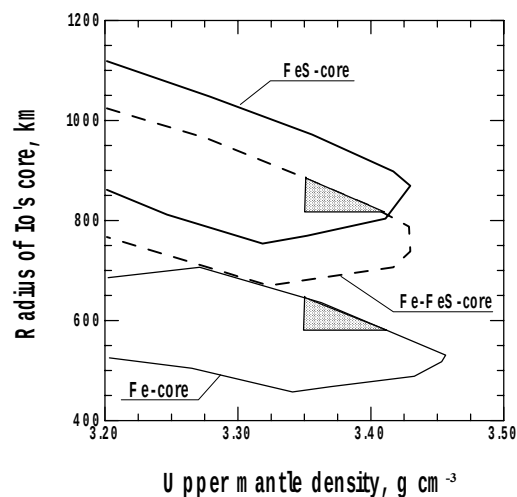


Рис. 2. Геофизически допустимые размеры радиуса ядра Ио составляют: 440-720 км для Fe-ядра, 640-1020 км для эвтектического Fe-FeS-ядра и 750-1120 км для FeS-ядра. Силикатная фракция L-, LL-хондритов, предложенная для мантии Ио, приводит к радиусам ядра равным: 590-630 км для Fe-ядра и 830-875 км для эвтектического Fe-FeS-ядра

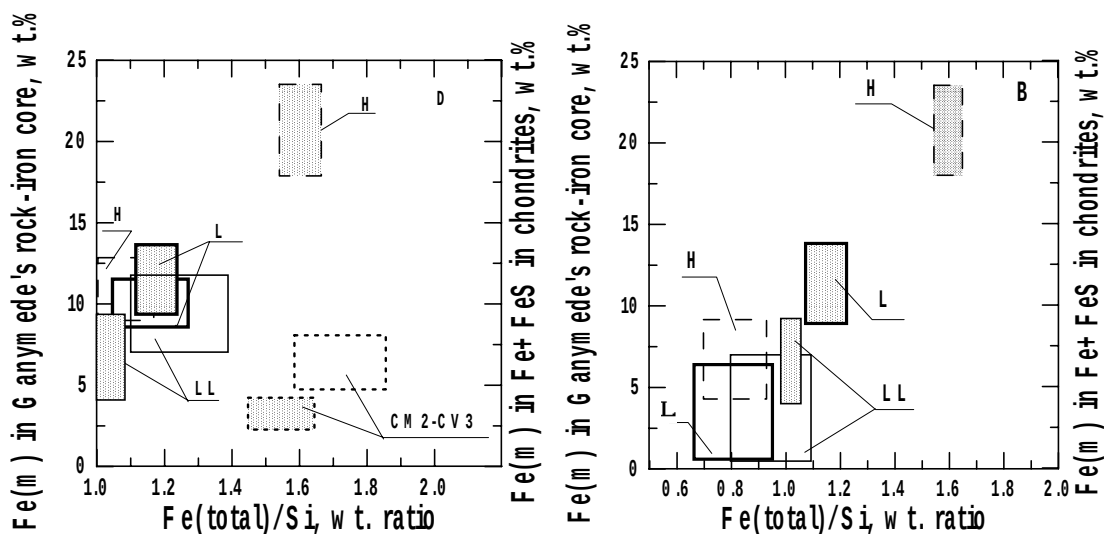


Рис. 3. Элементные массовые отношения для хондритовых моделей Ганимеда (пустые области), выведенные по геофизическим данным, в сравнении с таковыми для обыкновенных и углистых хондритов (заштрихованные области). Плотность минеральных ассоциаций в мантии рассчитана по силикатной фракции обыкновенных и углистых хондритов. (D) - модель с внешней оболочкой, состоящей из высокобарных модификаций чистого льда. (B) - модель с внешней оболочкой, состоящей из смеси лед + жидкая вода (до глубины 30-120 км находится лед I, далее - слой воды мощностью 140-230 км); P-T профиль для этой модели лежит на кривой плавления.