

Участие крупных недифференцированных тел в формировании Земли

Сергеев В.Н. ИДГ РАН, Москва, Россия

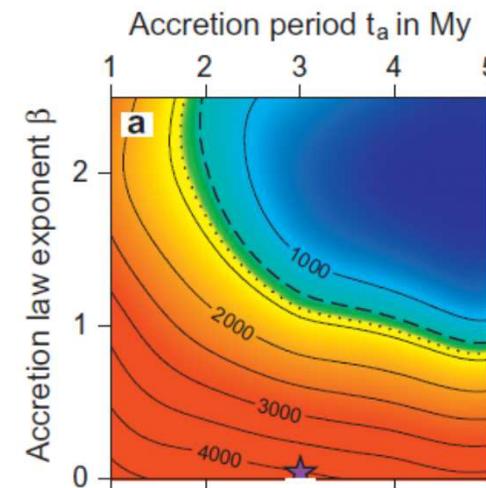
Учет участия крупных недифференцированных тел размером в сотни км в формировании Земли более адекватно описывает происхождение Луны в ко-аккреционной (статистической) модели с учетом столкновений крупных ударников с растущей Землей [1].

Главными условиями плавления и дифференциации планетезималей являются время их образования относительно времени образования САИ и их состав, а также закон, по которому происходит рост планетезималей. Источники нагрева планетезималей – это радиоактивный распад короткоживущих изотопов ^{26}Al ($t_{1/2}=7,17\cdot 10^5$ лет) и ^{60}Fe ($t_{1/2}=2,62\cdot 10^6$ лет) и гравитационная энергия, переходящая в тепло при формировании планетезималей. Распространенность ^{26}Al и ^{60}Fe в Солнечной системе на время образования САИ оценивается для ^{26}Al как $5,23\cdot 10^{-5}$ [2] и для ^{60}Fe как $1,15\cdot 10^{-8}$ [3]. При таких значениях распространенности ^{26}Al и ^{60}Fe учет распада ^{60}Fe не требуется даже для характерных значений содержания элементов Al (~1%) и Fe (~30%) в современной Земле.

В настоящее время одними из наиболее вероятных механизмов образования планетезималей считаются модели гравитационной неустойчивости в пылевом слое протопланетного диска [4] и «мягкого» гравитационного коллапса, концентрированного за счет потоковой неустойчивости [5] облака пылевых «камешков» [6]. Последний механизм из выше перечисленных допускает образование «рыхлых» планетезималей с заполнением твердым веществом относительно общего объема порядка 40%, размером порядка и менее 1000 км [6]. В качестве подтверждения адекватности модели в [6] приводится пояс астероидов, где относительно небольшие тела с размерами менее 100 км считаются ударными обломками крупных тел, а более крупные – первичными планетезималами.

В последнее время появились модели, допускающие относительно более длительное время образования планетезималей, чем считалось ранее. В работе [7] приводятся данные, подтверждающие это.

В работе [8] рассмотрена тепловая история планетезималей в зависимости от времени достижения ими определенного размера и скорости изменения размера планетезималей по закону $dR/dt \propto R^\beta$. Начальный размер планетезималей брался 5 км и не учитывалось время от образования САИ до формирования первоначальных планетезималей с таким размером.



На рисунке из [8] приведены результаты моделирования для планетезималей размером 500 км. Линии с числами – температура в К. Пунктирная линия – температура плавления металла (1261 К).

[1] Печерникова Г.В., Сергеев В.Н. Динамические процессы в геосферах. Сборник научных трудов ИДГ РАН. 2019. Вып.11.

[2] Jacobsen B. et al. Earth and Planetary Science Letters. 2008. V. 272: P. 353–364.

[3] Tang H., Dauphas N. Earth and Planetary Science Letters. 2012. V. 359–360. P. 248–263.

[4] Макалкин А.Б. и др. Физика Земли. 2019. № 1

[5] Колесниченко А.В., Маров М.Я. Астрономический Вестник. 2019. Т. 53. № 3.

[6] Blum J. Space Sci Rev 214, 52 (2018).

[7] Maurel C. et al., Sci. Adv. 2020. 6, eaba 1303

[8] Sramek O. et al. Icarus 217 (2012) 339–354.

По совокупности данных можно считать, что возможность участия крупных недифференцированных тел размером в сотни км в формировании Земли вполне вероятна.