

Магматизм ранней Земли. Возможный сценарий эволюции

© *Н. С. Жатнуев, В. И. Васильев, Г. Д. Санжиев, Е. В. Васильева*
Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия. E-mail: zhatnu@yandex.ru

Рассматривается эволюция магматического океана на ранней стадии развития Земли. Аккреция Земли происходила при столкновении космических тел размером с Марс и менее. Выделяющееся тепло расплавало поверхность Земли до глубины современной верхней мантии и возможно, глубже. Кристаллизация этого магматического океана, привела к формированию коры, деплетированной мантии, водного океана и атмосферы.

Ключевые слова: аккреция; магматический океан; флюиды; сверхкритический флюидо-расплав; земная кора; мантия.

Magmatism of the early Earth. Possible scenario of evolution

N. S. Zhatnuev, V. I. Vasiliev, G. D. Sanzhiev, E. V. Vasilieva
Geological Institute, SB RAS, Ulan-Ude, Russia. E-mail: zhatnu@yandex.ru

The evolution of the magmatic ocean at an early stage of the Earth's evolution has been considered. The accretion of the Earth occurred during the collision of cosmic bodies the size of Mars or less. The emanating heat melted the surface of the Earth to the depth of the modern upper mantle and possibly deeper. The crystallization of this magmatic ocean led to the formation of a crust, a depleted mantle and a water ocean and an atmosphere.

Keywords: accretion; magmatic ocean; fluids; supercritical fluid-melt; crust; mantle.

Современный состав мантии и земной коры был обусловлен эволюцией Земли в начале её образования. Как предполагается по достаточно многочисленным гипотезам, Земля была сформирована в результате аккреции протопланетного облака, и на начальных стадиях поверхность её была покрыта магматическим океаном (МО), глубина которого, по разным оценкам, колеблется от 1000 км и менее. Наиболее приемлемой величиной, на наш взгляд, представляются оценки А.Е. Рингвуда, где глубина МО ограничивалась пределами современной верхней мантии (~400 км). На рис. 1 слева представлены схематизированные геотермы ранней Земли, а также солидус и ликвидус мантии по А.Е. Рингвуду [1].

По графикам видно, что область современной верхней мантии была расплавлена полностью до ~150 км и частично до ~400 км. Остывание Земли смещало первичную геотерму до современного положения (стадии а–f), что привело к смещению границ твёрдой мантии к поверхности (правая часть рис. 1). Образование МО в процессе аккреции привело к тому, что первичные восстановленные газы (H_2 , CH_4), захороненные в хондритовом веществе внутри Земли выделялись в процессе разогрева и барботировали через расплавленное силикатное вещество МО и растворялись в нем. Это явилось одним из важнейших факторов глубокой дифференциации вещества МО, в результате чего выделилась более кислая кора, а кристаллизующееся вещество было деплетировано и осело на дно. В процессе барботажа и взаимодействия с первичным веществом H_2 и CH_4 окислялись до воды и углекислого газа, а переменновалентные элементы (Fe, Ni) восстанавливались до металла, что на первой стадии явилось причиной образования ядра, а после его образования металлы просачивались через нижнюю, примитивную мантию в ядро.

Поскольку H_2O и CO_2 значительно понижают температуру плавления силикатов, то очень важным моментом во всем этом процессе является растворение H_2O и CO_2 в МО. Этот процесс, во-первых, накапливает эти летучие вещества в огромных количествах в МО в виде надкритической смеси и, во-вторых, продлевают жизнь МО во времени. Экспериментально показано, что при давлениях выше 4,0 ГПа для системы Sr-плагиоклаз ($SrAl_2Si_2O_8$)– H_2O по [2] и выше 1.5 ГПа для нефелина, жадеита и гранитных составов по [3] достигается абсолютная смешимость между расплавом и флюидом, что означает, что надкритическая субстанция может равновесно содержать (удерживать) огромное количество водно-карбонатного флюида до определённой температуры, при которой начнётся кристаллизация силикатной составляющей.

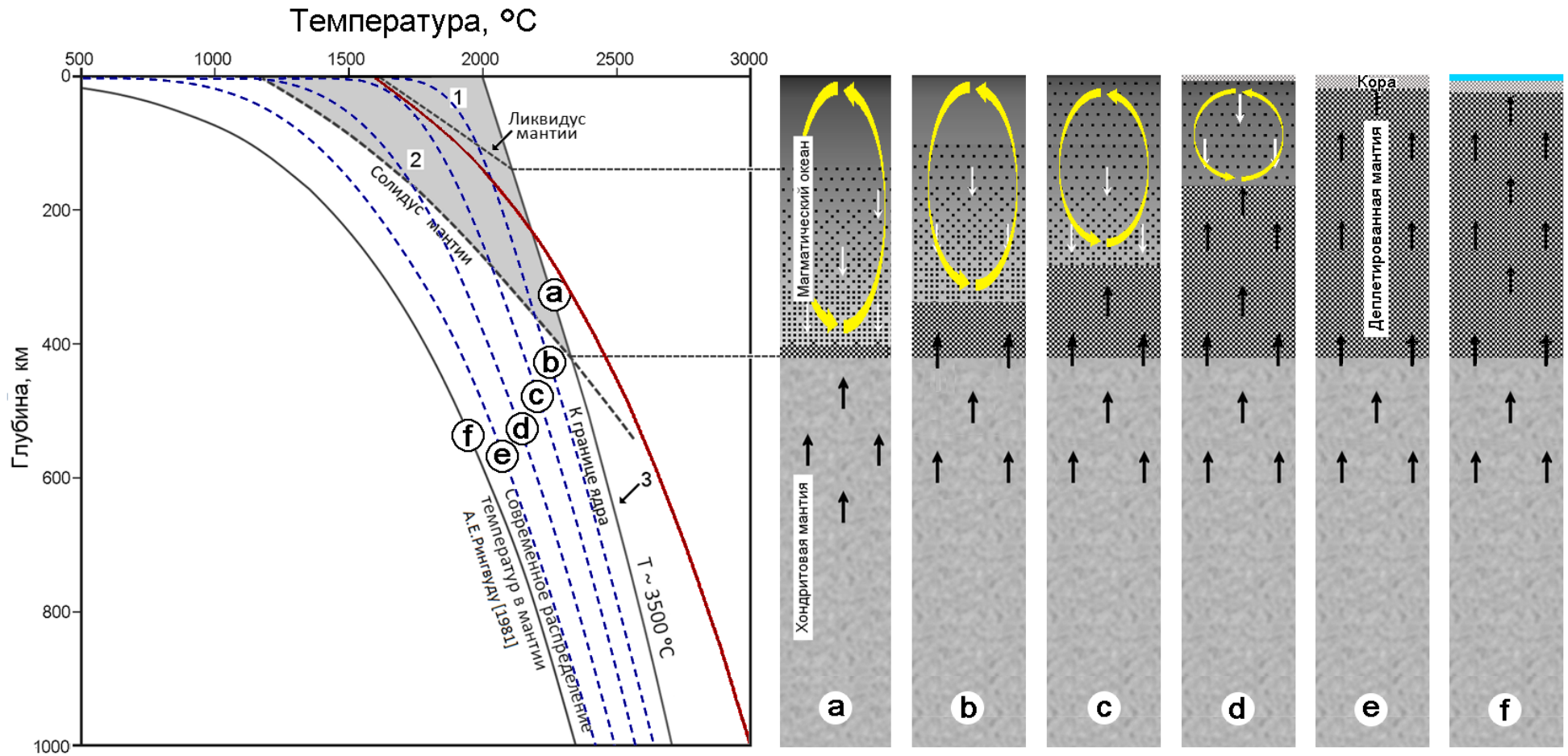


Рис. 1. Эволюция температурного режима Земли от образования до современности, солидус и ликвидус первичной Земли по А.Е. Рингвуду [1] и **a-f** — схематизированная интерполяция эволюции температуры от образования Земли до современности (слева). Справа — стадии кристаллизации МО, соответствующие буквенным обозначениям в левой части. Белые стрелки — осаждение кумулата и металлического железа, черные стрелки — подъем восстановленного флюида, окисляющегося в процессе взаимодействия с силикатным веществом. Круговые стрелки — конвекция в МО.

Эти результаты свидетельствуют о том, что существует полная смесимость между силикатными расплавами и водой в большей части верхней мантии, за исключением очень малых глубин. Исходя из данных по абсолютной смесимости силикатных расплавов и карбонатно-водных флюидов при определённых термодинамических условиях, можно полагать, что кристаллизация МО по мере остывания верхней мантии приведёт к осаждению ультраосновного кумулата, формирующего истощённую мантию и обособлению сверхкритических близэвтектических флюидо-расплавов значительно более кислого состава и существенно меньшей плотности (рис. 2).

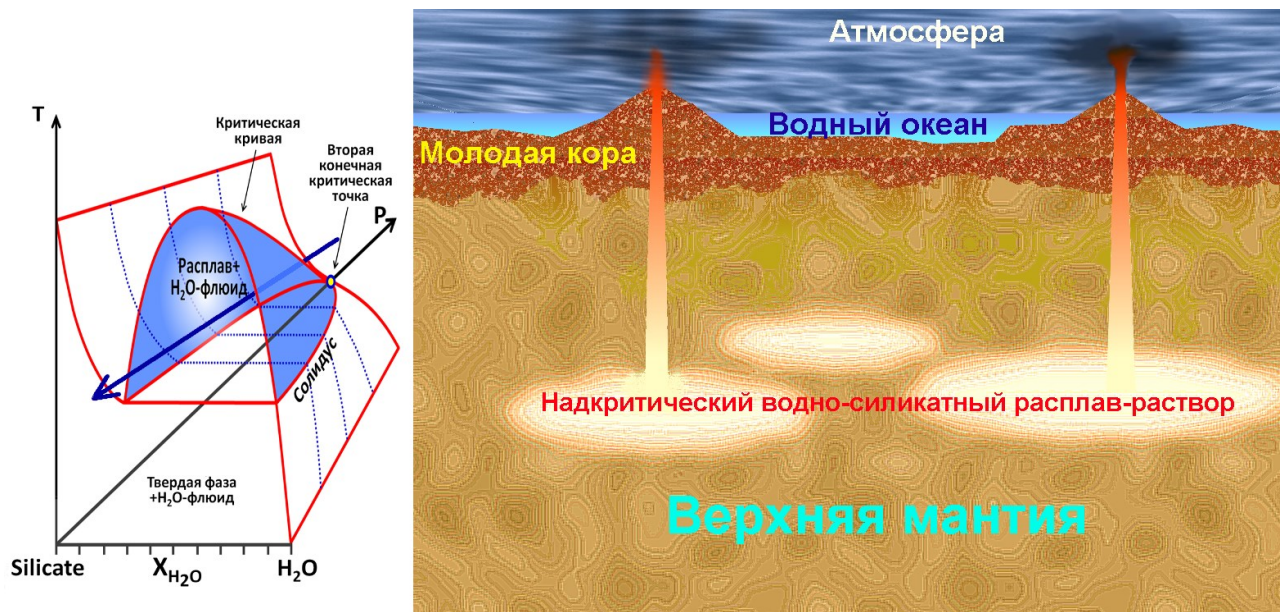


Рис. 2. Диаграмма P–T–X системы силикат+флюид, показывающая условия надкритического состояния, при котором наступает абсолютная смесимость в системе. Стрелкой показана траектория подъёма надкритической смеси, при котором наступает её расслоение на силикатный расплав и флюид (слева). Схематическая модель верхней мантии ранней Земли с областями надкритического состояния системы силикат+флюид (справа).

Эти области надкритического состояния могли содержать очень большое количество воды и CO_2 и, обладая существенно меньшей плотностью по сравнению с раскристаллизованной верхней мантией, могли прорываться на поверхность с одновременным расслоением на магму и флюид, по механизму, описанному нами ранее [4, 5]. Силикатная составляющая, более кислая по составу чем окружающая мантия, формировала континентальную кору, флюидная компонента — ранний океан и атмосферу.

Литература

1. Рингвуд А. Е. Состав и происхождение Земли. М.: Наука, 1981. 114 с.
2. Determination of the second critical end point in silicate– H_2O systems using high-pressure and high-temperature X-ray radiography / K. Mibe [et al.] // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2004. V. 68. № 24. P. 5189–5195.
3. Bureau H., Keppler H. Complete miscibility between silicate melts and hydrous fluids in the upper mantle: experimental evidence and geochemical implications // *Earth and Planetary Science Letters*. 1999. V. 165. P. 187–196.
4. Жатнуев Н. С. Динамика глубинных магм // *ДАН*. 2010. Т. 430. № 6. С. 787–791.
5. Жатнуев Н. С. Трансмантийные (интрателлурические) флюиды: новая модель плюмов и плюмового магматизма // *Геология и геофизика*. 2016. Т. 57. № 8. С. 1445–1454.

Жатнуев Николай Сергеевич, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института СО РАН, г. Улан-Удэ.