

Сотворение мира III. Художник М.К.Чюрлёнис. 1906. Фрагмент.

УДК 552.6:523.3-52

Маракушев А.А.\*,  
Зиновьева Н.Г.\*\*,  
Грановский Л.Б.\*\*\*



А.А. Маракушев



Н.Г. Зиновьева



Л.Б. Грановский

## Околосолнечные планеты-гиганты и происхождение Земли<sup>1</sup>

\*Маракушев Алексей Александрович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института экспериментальной минералогии РАН, академик РАН, почетный профессор МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: belova@iem.ac.ru

\*\*Зиновьева Нина Георгиевна, доктор геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией локальных методов исследования вещества кафедры петрологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: nzinov@mail.ru

\*\*\*Грановский Лев Борисович, старший научный сотрудник кафедры петрологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Обосновывается существование в прошлом околосолнечных планет-гигантов. Они теряли свои гигантские флюидные оболочки под воздействием солнечного ветра, а их плотные жидкие ядра превращались в железо-силикатные НН-хондритовые планеты. С расслоением этих планет связано образование современных планет Земной группы, в том числе и Земли.

**Ключевые слова:** Солнечная система, планеты-гиганты, планеты Земной группы, метеориты, хондриты, ахондриты.

<sup>1</sup> Расширенный вариант доклада: Marakushev A.A., Zinovieva N.G., Granovsky L.B. Ordinary chondrites and the Origin of the Earth // Antarctic Meteorites XXXV, NIPR, Japan, Tokyo, 2012. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программы «Поддержка научных школ» (грант НШ-5877.2012.5).

Строение Солнечной системы представлено на рис. 1; показано, что медленно вращающееся Солнце (желтый карлик в системе звезд), окружается стремительно обращающимися вокруг него планетами Земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс) и обломками примитивных (нерасслоенных) хондритовых железо-каменных планет, образующих так называемый пояс астероидов. За ним в удалении от Солнца находятся планеты-гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), завершающие строение Солнечной системы. В ее обрамлении находятся ледяные массы, сложенные водяным льдом с вмороженной в него космической пылью, образующие пояса Койпера, Хиллса, облако Оорта. Из них в Солнечную систему периодически вторгаются ледяные массы – кометы, приобретающие под воздействием Солнца округлую форму. Из их числа на рис. 1 показаны орбиты Плутона, относимого раньше к планетам, и кометы Галлея.

Пояс астероидов является источником гелиоцентрических метеоритов (их обломков), которые в их падении на Солнце, захватывались гравитационным полем Земли. Метеориты представлены в основном хондритами, которые подразделяются на обыкновенные (преобладающие) хондриты (OC), энстатитовые (E) и углистые (C). Хондриты состоят из силикатных (оливин-пироксен-плагиоклазовых) каплевидных обособлений (хондр) и центрирующей их богатой железом матрицы, по составу которой хондриты подразделяются на металлические (никель-железные), железо-оливиновые и оливиновые.

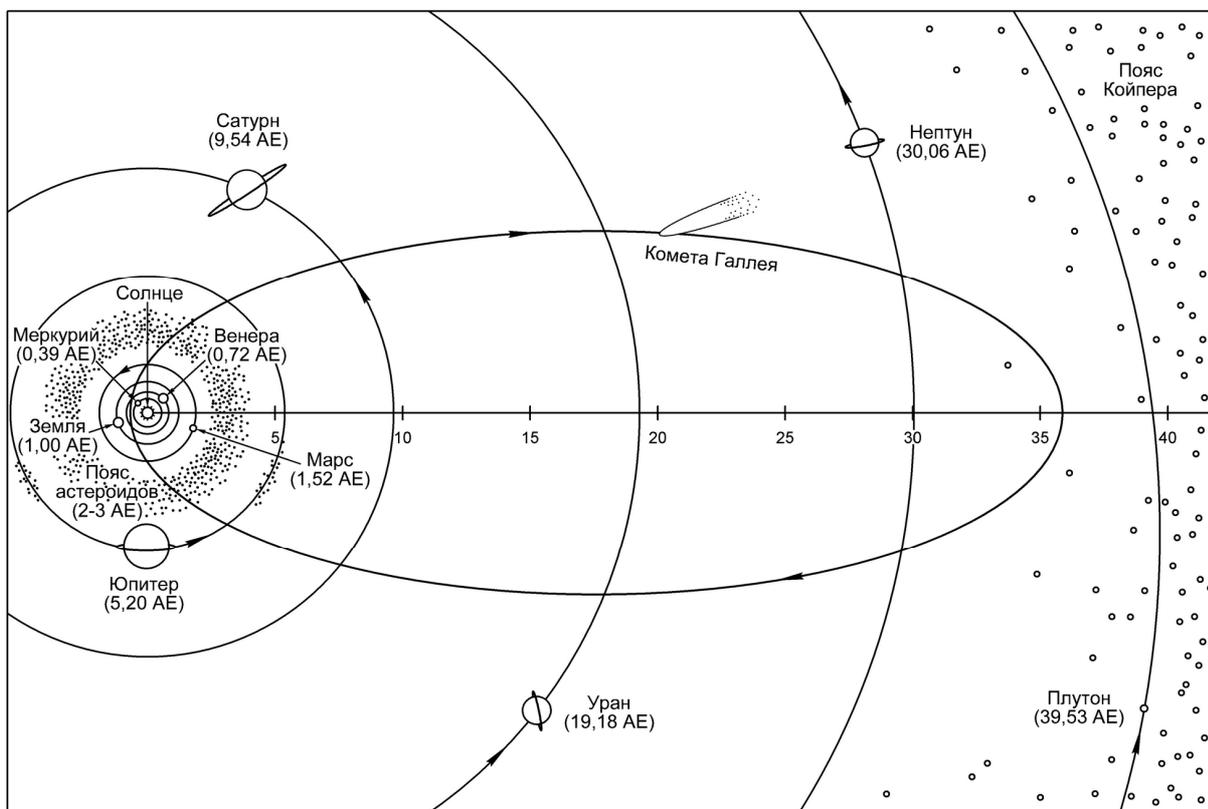


Рис. 1. Строение Солнечной системы и положение в ней кометы Галлея. Цифры – расстояние, АЕ

Хотя хондриты являются обломками небольших железо-каменных планет, в их составе отчетливо выражены признаки зарождения и раннего развития их вещества под огромным флюидным (в основном водородным) давлением, которое может достигаться только в ядрах планет-гигантов. В состав матрицы всех типов хондритов входят мельчайшие (меньше 10 нм) зерна алмаза, переполненные флюидными включениями настолько, что их объемная плотность равняется<sup>1</sup> 2,2–2,3 г/см<sup>3</sup> при плотности алмаза 3,5 г/см<sup>3</sup>. Мельчайший размер зерен алмаза определялся выделением его на молекулярном уровне в результате чрезмерного уплотнения флюидов:



Устойчивый парагенезис в хондритах алмаза с муассанитом (SiC) отражает сильно восстановительную обстановку его образования на самых ранних ступенях развития хондритовых ядер планет-гигантов. Из этого следует вывод о формировании хондритовых планет (с взрывным распадом которых связан пояс астероидов) в качестве жидких ядер их материнских планет-гигантов, которые затем потеряли свои гигантские оболочки под воздействием солнечного ветра. В алмазе хондритов фиксируется специфика этих оболочек: соотношение в нем изотопов ксенона <sup>136</sup>Xe/<sup>134</sup>Xe = 1,04, соответствует этому отношению во флюидной оболочке Юпитера<sup>2</sup>. Только под давлением этих гигантских оболочек в хондритовых планетах смог сосредоточиться запас флюидов, достаточный для их взрывного распада на астероиды при снятии общего давления, создаваемого флюидными оболочками их материнских планет-гигантов. Эти флюидные оболочки селективно теряли водород под

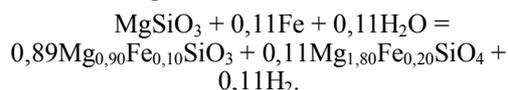
<sup>1</sup> Breatly A.J., Jones Rh.H. Chondritic meteorites // Reviews in Mineralogy (Planetary Materials / Ed. Papike J.J.). 1998. N. 36. P. 1–370.

<sup>2</sup> Manuel O., Katragada A. The Sun's origin and composition: Implications from meteorite studies. In: Proceedings of Asteroids, Comets, Meteors. ACM 2002 (Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Divisions, 2003). P. 787–790.

воздействием Солнца, так что их состав изменялся в направлении возрастания его  $H_2O/H_2$  отношения. В результате в хондритах, развивающихся под давлением флюидных оболочек их материнских планет, металлическая матрица вытеснялась оливиновой, что в части обыкновенных хондритов (OC) выражается реакцией



Ступенчатым смещением ее вправо определяются типы обыкновенных хондритов в последовательности повышения в них железистости ( $100 \cdot Fe/(Mg+Fe)$ ) силикатов диапазоны ее изменения указаны в скобках HH(0–15) – H(15–21) – L(21–26) – LL(26–32). В этой последовательности закономерно изменяется изотопный состав кислорода, приближаясь к изотопному составу участвующей в реакции воды (рис. 2). В этом же направлении снижается общее содержание в хондритах железа (понижается Fe/Si отношение). Эта корреляция известна как правило Прайора, согласно которому повышение железистости силикатов в хондритах находится в обратной корреляции с общим содержанием в них железа (величиной Fe/Si). Соответственно обыкновенные хондриты с самой низкой железистостью силикатов (типа HH) являются наиболее богатыми железом. Они отвечают самому началу смещения вправо окислительной реакции обыкновенных хондритов:



HH-хондриты относятся к самым богатым железом обыкновенным хондритам. Они являются единственным типом, соответствующим по Fe/Si отношению Земле (рис. 3). Другой их важнейшей, в рассматриваемом отношении, особенностью является никель-железная матрица, которая в последовательности HH–H–L–LL вытесняется оливином, что обусловлено повышением окисленности хондритов. Поэтому только HH-хондритовая планета, развивавшаяся под огромным флюидным давлением материнской планеты-гиганта, могла быть предшественницей Земли и образовать при расслоении ее гигантское флюидное ядро и прочные силикатные оболочки, предотвратившие взрывной распад Протоземли на астероиды на переходе от протопланетной к планетной стадии развития. При этом в земном ядре образовался такой громадный запас флюидов, который обеспечивает ее эндогенное развитие на протяжении уже 4,6 млрд. лет.

HH-хондритовые планеты характеризовались в основном металлическим составом богатой флюидами матрицы. Они относительно легко расслаивались и превращались в планеты Земной группы, что отличало их от планет с существенно оливиновой матрицей, которые оставались на хондритовой ступени развития и, взрываясь, формировали пояс астероидов. Околосолнечные планеты-гиганты располагались, таким образом, не только в поясе астероидов (см. рис. 1), но и на месте планет Земной группы, являясь для них материнскими планетами (Протомарс, Протоземля, Протоvenus и Протомеркурий). HH-хондритовые планеты представляли промежуточное звено в их развитии. Земля в этом аспекте первично расслаивалась на огромное флюидное жидкое никель-железное ядро и прочные силикатные оболочки, которые препятствовали ее взрывному распаду, как и планет ее группы, на переходе от протопланетной к планетной стадии развития. Однако при этом она попадала в напряженное состояние, которое реализовалось развитием ее эндогенной активности, которая продолжается уже 4,6 млрд. лет. Главным в этом развитии было интенсивное флюидное воздействие земного ядра на первичные магниальные оболочки, которые подвергались оливинизации с привнесом в них железа. Этот процесс сопровождался развитием магматических очагов, извержения которых представляют единственную возможность судить о составе переработанной земной мантии, в которой содержатся только реликтовые фрагменты первичной оболочки Земли, рис. 4.

В отличие от Земли планеты ее группы консолидировались и утратили эндогенную активность и магнитные поля. Это объясняется меньшим запасом флюидов в их ядрах. По-видимому, они расслаивались не в материнских планетах-гигантах, как Земля в Протоzemле, а на переходе к планетной стадии развития.

Обрисованная модель происхождения и развития Земли развивается нами с давних времен<sup>1</sup>. Существенной

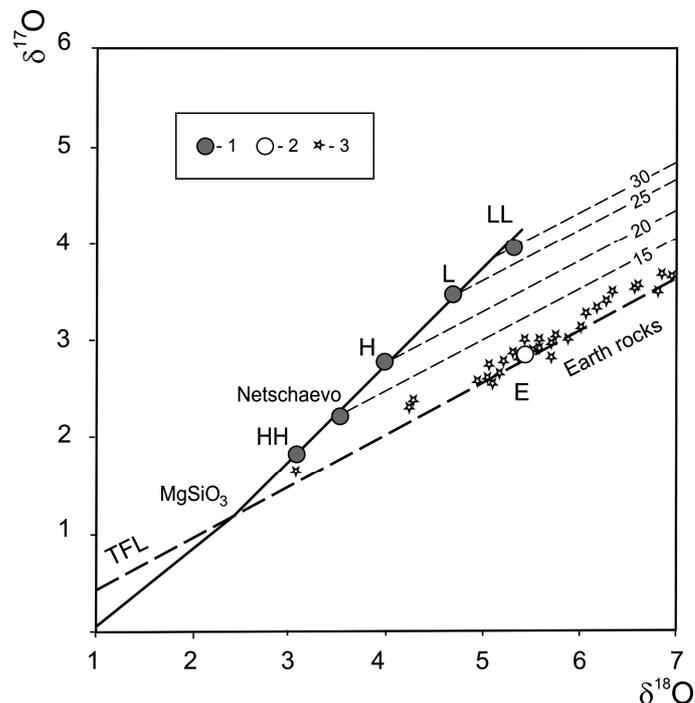


Рис. 2. Изотопный состав кислорода обыкновенных хондритов (1 – LL, L, H, HH) и хондритовой составляющей железного метеорита Нечаево (Netschaevo), отвечающего границе между HH и H хондритами. Приводится средний состав энстатитовых хондритов (2 – E) в сопоставлении с земными породами (3).

<sup>1</sup> Маракушев А.А. Происхождение и эволюция Земли и других планет Солнечной системы. М.: Наука, 1992. 208 с. (пер. на японский язык в 1997, 269 с.); Маракушев А.А. Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М.: Наука, 1999. 255 с.; Маракушев А.А., Безмен Н.И. Эволюция метеоритного вещества, планет и магматических серий. М.: Наука, 1983. 184 с.

поддержкой ее явились новейшие достижения астрономии, обнаружение звездно-планетных аналогов Солнечной системы. В этих аналогах околозвездную позицию занимают планеты-гиганты (так называемые быстрые Юпитеры) – аналоги околосолнечных планет-гигантов, утраченных Солнечной системой. На рис. 5 приводится сопоставление Солнечной системы с обнаруженными звездно-планетными системами, у которых еще сохранились околозвездные планеты-гиганты, положение которых аналогично положению планет Земной группы в Солнечной системе.

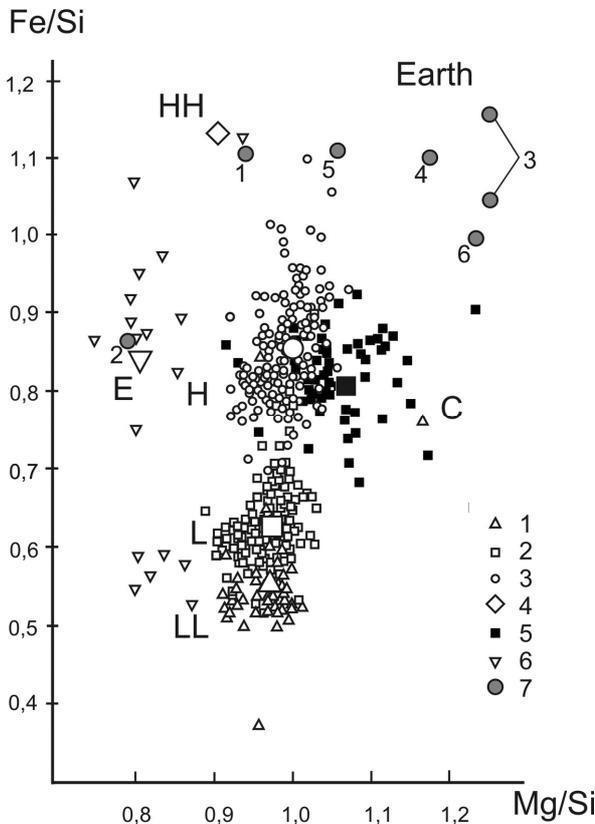


Рис. 3. Петрохимическая диаграмма (атомные отношения металлов) хондритов в сопоставлении с расчетным составом Земли: 1–4 – обыкновенные хондриты: 1 – LL, 2 – L, 3 – H, 4 – HH (силикатные включения HH-хондрита Нечаево); 5 – углистые хондриты (C); 6 – энстатитовые хондриты (E), 7 – состав Земли по данным: 1 – Маракушев, Безмен<sup>1</sup>; 2 – Javoy et al.<sup>2</sup>; 3 – McDonough, Sun<sup>3</sup>; 4 – Kargel, Lewis<sup>4</sup>; 5 – Morgan, Anders<sup>5</sup>; 6 – Murthy, Hall<sup>6</sup>. Крупными знаками обозначены средние составы хондритов.

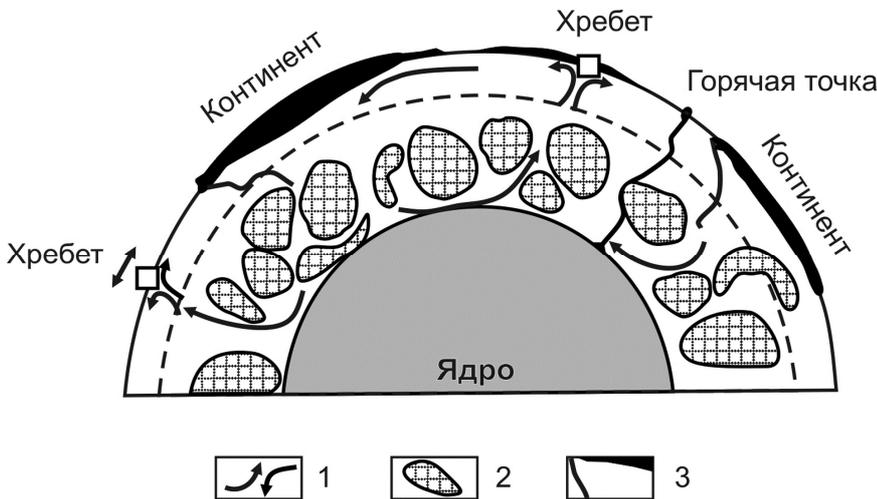


Рис. 4. Схема глубинной конвекции в мантии<sup>7</sup>: 1 – сложные конвективные движения; 2 – массы примитивного вещества, которые располагаются преимущественно в ядрах конвективных ячеек; 3 – утолщенные полосы, идущие в глубину от краев континентов (это пути проникновения слэбов).

<sup>1</sup> Маракушев А.А., Безмен Н.И. Эволюция метеоритного вещества, планет и магматических серий. М.: Наука, 1983. 184 с.  
<sup>2</sup> Javoy M., Kaminski E., Guyot F., Andrault D. et al. The chemical composition of the Earth: Enstatite chondrite models // Earth and Planet. Sci. Lett. 2010. N 293. P. 259–268.  
<sup>3</sup> McDonough W.F., Sun S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. N 120. P. 223–253.  
<sup>4</sup> Kargel J.S., Lewis J.S. The composition and early evolution of Earth // Icarus. 1993. N 105. P. 1–25.  
<sup>5</sup> Morgan J.W., Anders E. Chemical composition of the Earth, Venus, and Mercury // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1980. N 77 (12). P. 6973–6977.  
<sup>6</sup> Murthy V.R., Hall H.T. The chemical composition of the Earth's core: possibility of sulfur core // Phys. Earth Planet. Interiors. 1970. N 2. P. 276–282.  
<sup>7</sup> Kellogg L.H., Hager B.H., van der Hilst R.D. Compositional stratification in the deep mantle // Science. 1999. N. 283 (5409). P. 1881–1884.

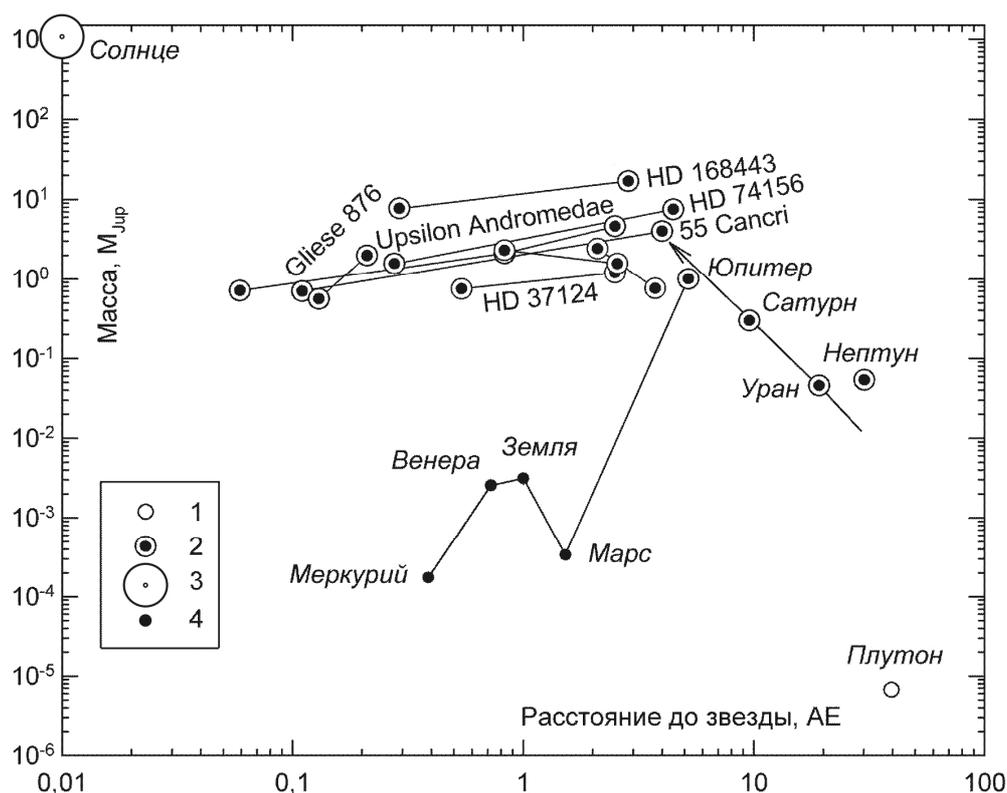


Рис. 5. Объединенная диаграмма Солнечной и звездно-планетных систем  
 1 – ледяная «планета» Плутон, 2 – планеты-гиганты, 3 – звезды, 4 – планеты Земной группы (составлено с использованием данных<sup>1</sup> и др.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Маракушев А.А. Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. М.: Наука, 1999. 255 с. Marakushev A.A. (1999). Proiskhozhdenie Zemli i priroda ee endogennoi aktivnosti. Nauka, Moskva. 255 p.
2. Маракушев А.А. Происхождение и эволюция Земли и других планет Солнечной системы. М.: Наука, 1992. 208 с. (перевод на японский язык в 1997). 269 с. Marakushev A.A. (1992). Proiskhozhdenie i evolyutsiya Zemli i drugikh planet Solnechnoi sistemy. Nauka, Moskva. 208 p. (perevod na yaponskii yazyk v 1997). 269 p.
3. Маракушев А.А., Безмен Н.И. Эволюция метеоритного вещества, планет и магматических серий. М.: Наука, 1983. 184 с. Marakushev A.A., Bezmen N.I. (1983). Evolyutsiya meteoritnogo veshchestva, planet i magmатических серий. Nauka, Moskva. 184 p.
4. Breatly A.J., Jones Rh.H. Chondritic meteorites // Reviews in Mineralogy (Planetary Materials / Ed. Papike J.J.). 1998. N. 36. P. 1–370.
5. Charbonneau D. Atmosphere out of that word // Nature. 2003. N 422. P. 124–125.
6. Javoy M., Kaminski E., Guyot F., Andraut D. et al. The chemical composition of the Earth: Enstatite chondrite models // Earth and Planet. Sci. Lett. 2010. N 293. P. 259–268.
7. Kargel J.S., Lewis J.S. The composition and early evolution of Earth // Icarus. 1993. N 105. P. 1–25.
8. Kellogg L.H., Hager B.H., van der Hilst R.D. Compositional stratification in the deep mantle // Science. 1999. N. 283 (5409). P. 1881–1884.
9. Manuel O., Katragada A. The Sun's origin and composition: Implications from meteorite studies. In: Proceedings of Asteroids, Comets, Meteors. ACM 2002 (Noordwijk, Netherlands: ESA Publications Divisions, 2003), P. 787–790.
10. Marakushev A.A., Zinovieva N.G., Granovsky L.B. Ordinary chondrites and the Origin of the Earth // Antarctic Meteorites XXXV, NIPR, Japan, Tokyo, 2012.
11. McDonough W.F., Sun S. The composition of the Earth // Chem. Geol. 1995. N 120. P. 223–253.
12. Morgan J.W., Anders E. Chemical composition of the Earth, Venus, and Mercury // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1980. N 77 (12). P. 6973–6977.
13. Murthy V.R., Hall H.T. The chemical composition of the Earth's core: possibility of sulfur core // Phys. Earth Planet. Interiors. 1970. N 2. P. 276–282
14. Vidal-Madjar A., Lecavelier des Etang A., Desert J.-M. et al. An extended upper atmosphere around the extrasolar planet HD209458b // Nature. 2003. N 422. P. 143–146.

<sup>1</sup> Charbonneau D. Atmosphere out of that word // Nature. 2003. N 422. P. 124-125; Vidal-Madjar A., Lecavelier des Etang A., Desert J.-M. et al. An extended upper atmosphere around the extrasolar planet HD209458b // Nature. 2003. N 422. P. 143-146.