

Геология

УДК 523.42 + 550-311 + 550-42

С.И. БАЛАСАНЯН
ХИМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ПЕРИОД
ФОРМИРОВАНИЯ ХОНДРИТОВ, ЗЕМЛИ И ДИФФЕРЕНЦИАТОВ
ЕЕ МАНТИИ

Рассматривается вопрос химической эволюции солнечного вещества за весь период формирования Земли и ее внешней оболочки. В химической эволюции солнечного вещества и Земли намечены некоторые закономерности, в частности установлено сближение во времени атомных кларков главных элементов внутренних планет и величин отношений атомных кларков K/Na , Ca/Mg , Fe/Mg , $Na + K/Fe + Mg$.

Земля и другие внутренние планеты Солнечной системы прошли сложный процесс химической эволюции — от звездной стадии до наших дней.

В звездную стадию происходил синтез изотопов химических элементов, причем больше всего образовались O, Si, Fe, Mg, Al, Ca, Na, K, Ti, Mn, Ni, C, S, играющие доминирующую роль в веществе метеоритов, Луны, Земли и, возможно, других внутренних планет.

На периферии Солнечной системы концентрировались легкие элементы (H, He, C, N и др.), а в зоне внутренних планет — все химические элементы, среди которых преобладали вышеотмеченные распространенные элементы. Как в зоне внутренних, так и внешних планет количественные соотношения элементов на разном расстоянии от Солнца были неодинаковы, на что указывает различие в средних плотностях внутренних планет (Меркурий - $5,62 \text{ г/см}^3$, Венера - $5,09 \text{ г/см}^3$, Земля - $5,51 \text{ г/см}^3$, Марс - $3,97 \text{ г/см}^3$) и внешних планет (Юпитер - $1,30 \text{ г/см}^3$, Сатурн - $0,68 \text{ г/см}^3$, Уран - $1,58 \text{ г/см}^3$, Нептун - $2,22 \text{ г/см}^3$).

Все это наводит на мысль, что в пространстве современной Солнечной системы в конце звездной стадии имело место дифференцированное распределение химических элементов, которое можно рассматривать как первую своеобразную дифференциацию исходного вещества планет. По-видимому, именно эта дифференциация, которую можно назвать звездной, привела к гетерогенности протопланетной туманности и сыграла существенную роль в различиях химического состава как внутренних, так и внешних планет.

По существующим гипотезам, после завершения ядерного синтеза химических элементов наступила вторая стадия развития Солнечной системы, характеризующаяся образованием вокруг Солнца протопланетного газового диска, при охлаждении которого происходила конденсация его вещества в виде пылевых частиц, а затем аккумуляция их с формированием планет. В начале аккумуляции выделялась высокотемпературная железо-никелевая фракция с образованием ядра будущих планет. Затем вокруг него оседали сравнительно низкотемпературные частицы с образованием мантии планет [1,3].

Следовательно, в ходе аккумуляции протопланетного вещества произошла новая химическая дифференциация грандиозного масштаба, сыгравшая большую роль в формировании вещественного состава внутренних планет. В процессе этой планетарной дифференциации важная роль принадлежала не только температурным условиям аккумуляции конденсированных частиц, но и магнитному полю, напряженность которого в Солнечной системе в прошлом была в 1000 раз больше [3].

Следующая стадия, соответствующая началу геологической истории Земли, ознаменовалась радиогенным нагревом Земли и глобальной химической дифференциацией, охватившей мантию с образованием первичной коры базальтового состава. Подобная дифференциация с образованием базальтовых кор происходила и на других внутренних планетах [1,3].

В дальнейшем в ходе развития геологических процессов продолжалась химическая дифференциация, приведшая к формированию гранитного слоя земной коры. Эту дифференциацию можно считать дискретной, ибо она, будучи связанной со множеством внутренних и внешних факторов, проявлялась весьма сложно, неравномерно и многообразно.

Таким образом современный химический состав Земли является результатом различных по характеру дифференциаций химических элементов — первичной звездной, планетарной, глобальной и дискретной. Точно оценить роль каждой из этих дифференциаций в химической эволюции Земли с учетом большого количества факторов весьма трудно.

Поэтому нами сделана попытка в самых общих чертах показать те изменения, которые произошли в атомной распространенности главных элементов солнечного вещества при формировании из него хондритов, как наиболее изученных из небесных тел, и Земли (планетарная дифференциация), а также дифференциатов мантии Земли — основных пород (глобальная дифференциация) и кислых пород (дискретная дифференциация). В данном случае мы исходим из основополагающего представления о генетической общности нашей планетной системы и о ее происхождении из исходного солнечного вещества. Кроме того, ультраосновные породы Земли рассматриваются как наиболее вероятные аналоги ее мантии [2,3].

При анализе материала применены вычисленные нами отношения атомных кларков K/Na , Ca/Mg , Fe/Mg , $Na + K/Fe + Mg$. Данные по атомному составу элементов Солнца взяты у Г.Голса, а по атомным

кларкам хондритов, Земли и разных объектов Земли — у А.П.Виноградова.

Как видно из табл. 1, по ряду главных элементов солнечного вещества Земля, хондриты и Солнце значительно отличаются друг от друга, что является следствием сепарации элементов в процессе формирования хондритов и Земли из солнечного вещества (планетарная дифференциация). Однако по рядам типичных элементов внутренних планет (см. II табл.1) весьма сходны между собой Солнце и хондриты, которые отличаются от Земли. Такая же картина выявляется при сопоставлении кларковых отношений K/Na , Ca/Mg (табл. 2). Величина отношения $Na+K/Fe+Mg$ почти одинаковая для Солнца, хондритов и Земли, но они резко отличаются по величине отношения атомных кларков Fe/Mg . Изменение атомных кларков главных элементов внутренних планет проиллюстрировано на рис. 1.

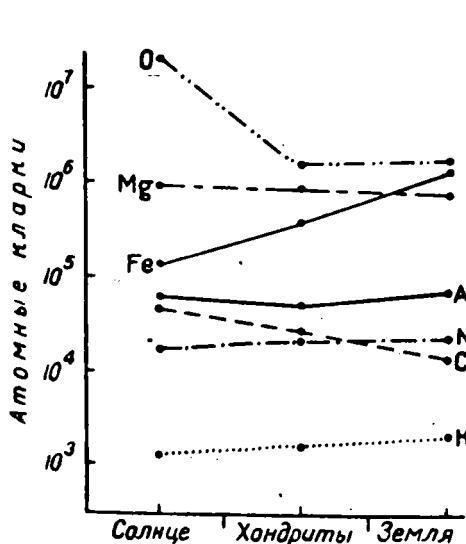


Рис.1. Изменение атомных кларков главных элементов внутренних планет в ряду Солнце—хондриты—Земля.

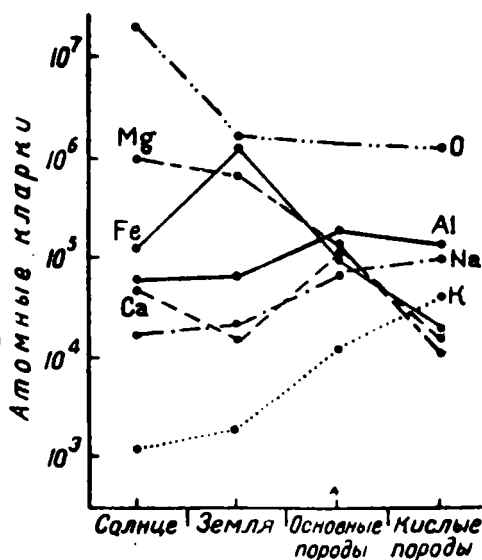


Рис.2. Изменение атомных кларков главных элементов внутренних планет при переходе от солнечного вещества к конечному продукту.

Таким образом при формировании Земли и хондритов планетарная дифференциация выразилась в изменении атомных кларков многих элементов солнечного вещества и отношений K/Na , Ca/Mg , особенно Fe/Mg , причем указанная дифференциация более интенсивно происходила при образовании Земли.

Дальнейшая дифференциация химических элементов на Земле после ее формирования связана, прежде всего, с процессом выплавки основных пород из ее мантии (глобальная дифференциация). Эти процессы проявлялись неоднократно в геологической истории развития Земли и являются характерным явлением для Луны, Марса и других внутренних планет. Глобальная дифференциация выражалась: 1) в неуклонном повышении величины отношений атомных кларков K/Na ,

Ca/Mg, Fe/Mg, Na + K/Fe + Mg; 2) в возрастании атомных кларков K, Na, Ca, но в понижении — Mg, Cr, Ni.

Дискретная дифференциация, имевшая место лишь на Земле, проявилась в неоднократном фракционировании химических элементов, приведшем к наибольшим изменениям атомных кларков главных элементов солнечного вещества. Большие изменения претерпели особенно атомные кларки — N, C (упали в 10^4 раз) и K (возросли в 35 раз). Также увеличились величины K/Na, Ca/Mg, Fe/Mg, Na + K/Fe + Mg (соответственно в 10, 20, 10, 143 раза).

Изменения атомной распространенности главных элементов внутренних планет иллюстрировано на рис. 2, из которого видно, что при переходе от исходного вещества к его конечным продуктам происходит закономерное возрастание атомных кларков Na, K, но понижение — Mg, O. Атомные кларки Cr, Ni резко падают (рис. 3). В изменении атомного кларка Ca нет определенной направленности. Из рис. 4 вытекает, что со временем неуклонно увеличивается величина K/Na. При переходе от Солнца к Земле величина Na + K/Mg + Fe и Ca/Mg падает, но в дальнейшей скачкообразно возрастает. Величина Fe/Mg меняется закономерно.

Химическая эволюция солнечного вещества в ряду Солнце — Земля — основные породы является наиболее частой, так как она характерна для всех внутренних планет. Здесь направленное изменение атомной распространенности вышеуказанных элементов сохраняется (рис. 2). Определенную направленность приобретает и кларк Al. Однако Ca и Fe обнаруживают диаметрально противоположную направленность. Противоположную тенденцию развития имеют также Fe и Mg в ряду Солнце — Земля.

После формирования нашей планеты и ее базальтовой коры, как это видно из рис. 2, 3 и 4, дальнейшая эволюция вещества на ней приобретает более четкую направленность, выражающуюся в прогрессивном

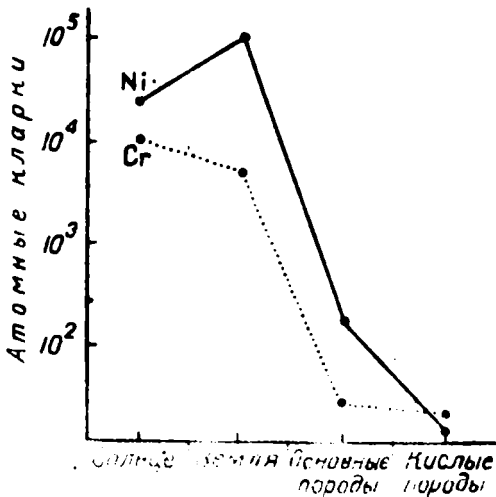


Рис. 3. Изменение атомных кларков Cr и Ni в ряду Солнце—Земля—основные породы—кислые породы

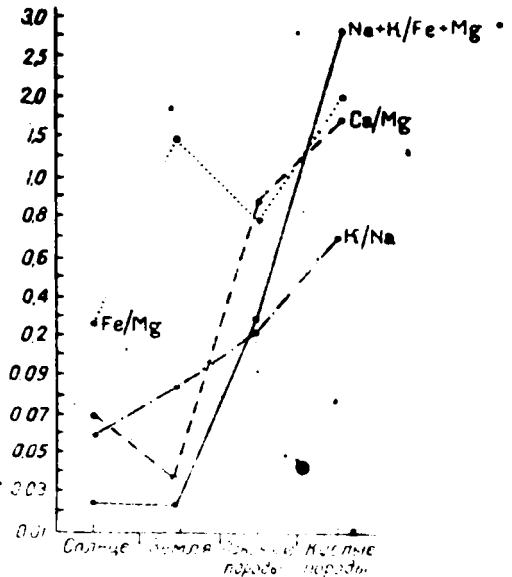


Рис. 4. Изменение отношений атомных кларков K/Na, Ca/Mg, Fe/Mg, Na + K/Fe + Mg в ряду Солнце—Земля—основные породы—кислые породы.

росте величин атомных кларков K, Na и отношений K/Na, Ca/Mg, Fe/Mg, Na + K/Fe + Mg, но в неуклонном падении кларков Fe, Mg, Ca, Ni, Cr. Эта общая эволюция химического состава Земли в общих чертах продолжается и по сей день.

Интересно отметить еще одну особенность эволюции солнечного вещества, которая хорошо намечается на рис. 2 и 3. Во времени происходит сближение величин атомных кларков главных элементов внутренних планет, в частности это относится к элементам, характеризующимся одинаковой направленностью (K, Na, Al, Mg, Fe, Ca, Ni, Cr). В химической эволюции Земли в общих чертах устанавливается и сближение во времени величин отношений атомных кларков K/Na, Ca/Mg, Fe/Mg, Na + K/Fe + Mg, хотя здесь наибольшее сближение относится к периоду формирования базальтовой коры (рис. 4).

Сближение во времени величин атомных кларков указанных элементов и их отношений, быть может, является одной из характерных закономерностей эволюции вещества в современном этапе.

Таблица 1

Ряды различных групп элементов на Солнце,
в хондритах и Земле

Группа элементов	Объект	Порядок уменьшения атомных кларков элементов
главные элементы Солнца	Солнце	H, He, O, C, N, Ne, Mg, Si, S, Ar, Fe, Al, Ca, Ni, Na, Cr, K
	хондриты	O, Si, Mg, Fe, S, Al, Ca, Na, Ni, Cr, C, N
	Земля	O, Fe, Si, Mg, Ni, S, Al, Na, Ca, H, Cr, C, K, N, Ar, He, Ne
главные элементы внутренних планет	Солнце	O, Mg, Si, Fe, Al, Ca, Na, K
	хондриты	O, Si, Mg, Fe, Al, Ca, Na, K
	Земля	O, Fe, Si, Mg, Al, Na, Ca, K

Таблица 2

Величины отношения атомных кларков ряда важных элементов
для Солнца, Земли, хондритов и объектов Земли

Объекты	Отношения атомных кларков элементов			
	K/Na	Ca/Mg	Fe/Mg	Na + K/Fe + Mg
Солнце	0,060	0,07	0,24	0,02
хондриты	0,071	0,06	0,76	0,031
Земля	0,086	0,037	1,51	0,022
мантия Земли	0,030	0,016	0,165	0,020
основные породы Земли	0,251	0,902	0,828	0,312
кислые породы Земли	0,712	1,715	2,10	2,87
земная кора	0,585	1,635	1,035	0,907

Кафедра минералогии и петрографии

Поступила 16.12.1991

ЛИТЕРАТУРА

1. Барсуков В.Л. Сравнительная планетология и ранняя история Земли. — Геохимия, 1981, № 11, с.1603.
2. Браунлоу А.Х. Геохимия. — М.: Недра, 1984, 464 с.

Ա.Ի. ԲԱԼԱՍԱՆԻԱՆ

ԱՐԵՊԱԿԱՆԱՅԻՆ ԼՅՈՒԹԻ ՔԻՄԻԱԿԱՆ ԷՎՈԼՅՈՒՑԻԱՆ ԽՈՆՂՐԻՏՆԵՐԻ, ԵՐԿՐԻ
ԵՎ ՆՐԱ ԹԻՎՆՈՑԻ ԱՇԱՆՅՅԱԼՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԸՆԹԱՃՔՈՒՄ

Ամփոփում

Դիտարկվում է արեգակնային նյութի քիմիական էվոլյուցիայի հարցը խոնդրիտների և առանձնապես երկրի ու նրա թիկնոցի ածանցյալների՝ բազալտային և գրանիտային շերտերի, առաջացման ընթացքում:

Հաջորդաբար տեղի են ունեցել տարբեր տեսակի դիֆերենցացիաներ, որոնց ընթացքում կատարվել են Արեգակի գլխավոր քիմիական տարրերի ատոմային կլարկների մեծ փոփոխություններ ժամանակի և տարածության մեջ:

Արեգակնային նյութի և երկրի քիմիական էվոլյուցիայում նկատվում են մի շարք օրինաչափություններ: Որոշակի խմբի քիմիական տարրերի ատոմային կլարկների փոփոխությունները ժամանակի ընթացքում ցուցաբերում են որոշակի ուղղվածություն: Նույնը կարելի է ասել K/Na , Ca/Mg , Fe/Mg , $Na + K/Fe + Mg$ ատոմային կլարկների հարաբերությունների մասին:

Արևի շերտի նյութի քիմիական էվոլյուցիայի առանձնահատկություններից մեկն այն է, որ ժամանակի ընթացքում նկատվում է ներքին մոլորակների գլխավոր քիմիական տարրերի ատոմային կլարկների մեծությունների մերձեցում: Դա հատկապես վերաբերում է այն քիմիական տարրերին, որոնք բնութագրվում են միատեսակ ուղղվածությամբ:

Երկրի քիմիական էվոլյուցիայում ընդհանուր առմամբ նկատվում է նաև K/Na , Ca/Mg , Fe/Mg , $Na + K/Fe + Mg$ ատոմային կլարկների հարաբերությունների մեծությունների մոտեցման միտում, թեկուզ և ամենամեծ մերձեցումը վերաբերում է բազալտային կեղևի ձևավորման ժամանակաշրջանին:

S.I. BALASANIAN

THE CHEMICAL EVOLUTION OF THE SOLAR MATTER IN THE PERIOD
OF FORMATION OF CHONDRITES, THE EARTH AND DERIVATIVES
OF ITS MANTEL

Summary

The question of chemical evolution of solar matter during the whole period of the formation of Earth and its external cover is considered. There are certain regularities in the chemical evolution of the solar matter and Earth, in particular, convergence in time of atomic clarks of the inner planets main elements and relation values of atomic clarks K/Na , Ca/Mg , Fe/Mg , $Na + K/Fe + Mg$ have been established.