

УДК 551.12 : 550.311

О НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ  
ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ВЕЩЕСТВА ЗЕМЛИ

К. П. ФЛОРЕНСКИЙ

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

Представление о цикличности геохимических процессов удовлетворяло исследователей по материалам исторической геологии, которая еще недавно была ограничена летописью осадочных пород, т. е. охватывала около 10% общего возраста планеты. Влияние общей эволюции Земли казалось исчезающе малым по сравнению с отдельными этапами цикла. Представление Геттона, что в геологии мы не видим ни начала, ни конца, подчеркнутое в трудах В. И. Вернадского, получило существенное развитие лишь после использования методов изотопной геохимии и работ по изучению абсолютного возраста докембрийских образований.

Необходимость построения общей теории Земли, вовлечение процессов, идущих в мантии, в сферу геологических интересов, требует значительного расширения наших знаний как в глубину Земли, так и во времени ее существования. Для построения любой эволюционной схемы необходимо знание как конечной, так и начальной точки, из которой следует проводить линию эволюционного развития. Получить ее методом экстраполяции в настоящее время вряд ли представляется возможным, ввиду большой неопределенности характера этой линии.

Эволюционное представление было широко развито у нас А. П. Виноградовым и его школой [1, 2, 3]. Существенным геохимическим требованием такого представления является отсутствие первичной плотной атмосферы [1—6] и др. и, как следствие, невозможность представить полностью расплавленную Землю и необходимость образования ее «холодным» путем. Важным вкладом А. П. Виноградова является объяснение механизма кристаллизационной дифференциации процессом, аналогичным «зонной плавке», при котором узкая тепловая зона расплавленного вещества движется относительно кристаллизованного столбика породы [1, 2, 3, 7].

Серьезным этапом является работа А. П. Виноградова и А. А. Ярошевского [8], которая не только показывает реальность этого механизма в геологических условиях, но и намечает путь периодического сбрасывания излишков тепла, что снимает ряд ограничений, допускаемых в истории Земли. Механизм образования Земли и планет путем аггломерации твердых тел, который постулируется в геохимии, неоднократно разбирался с астрономической и физической стороны (О. Ю. Шмидт и его школа, В. Г. Фесенков и др.), но его прямые следствия недостаточно учтены в геохимии.

Геохимики [4, 5 и др.] резко различают два этапа: *астрономический*, когда Земля приобрела ту форму и размеры, с которыми нам приходится иметь дело и сейчас, и *геологический*, — начавшийся уже после полного формирования планеты. Между этими этапами фактически не проводится достаточной связи и, более того, молчаливо допускается большой временной разрыв в 1—2 млрд. лет, необходимый для радиогенного разогрева Земли [36] и «начала» геохимических процессов, когда идет выплавление легкоплавкой фракции, дегазация и сопровождающий ее вулканизм. Таким образом, за начальную точку эволюции Земли по су-

шеству принимается холодная, лишенная первичной атмосферы и одно-  
родная планета современных размеров.

Между тем, теория Земли не может разорвать эти этапы. Попытаемся  
частично заполнить этот пробел.

Процесс роста планеты состоит из ряда последовательных падений  
тел разного размера. Каждое падающее из бесконечности в отсутствие  
атмосферы тело при нулевой геоцентрической начальной скорости приоб-  
ретаёт скорость удара, равную второй космической скорости — скорости  
отлета по формуле

$$V_k = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{M}{R}} \cdot 11,2 \text{ км/сек},$$

в которой  $M$  и  $R$  Земли являются единицами измерения. Практически,  
уже до входа в слой атмосферы, достаточной для торможения плотности,  
тело приобретает почти полную расчетную скорость. Отсюда легко пред-  
ставить себе минимальную кинетическую энергию падающего тела

Таблица 1

Полная энергия падения метеоритов

Скорость падения, км/сек	Энергия		Планета		
	эрг/г · 10 <sup>10</sup>	ккал/г		R	M
1	0,5	0,12			
2,4	2,9	0,69	Луна	0,273	0,012
5,7	16	3,8	Марс	0,53	0,108
9,6	46	11,0	Венера	0,97	0,82
11,2	60	14,3	Земля	1,00	1,00
20	200	47,7			
30	450	107			
50	1250	300			

$\left(\frac{mV^2}{2}\right)$ , которой обла-  
дает любая частица,  
выпадающая на плане-  
ту. Меньшей энергией  
обладают только ча-  
стицы, вращающиеся  
до падения вокруг Зем-  
ли как ее спутники.  
При падении (ударе  
или торможении в ат-  
мосфере) неизбежно  
выделение этой энер-  
гии. Некоторые сведе-  
ния о ее величине пред-  
ставлены в табл. 1.

Реальная величина выделяющейся энергии сейчас существенно выше  
минимальной вследствие наличия собственной геоцентрической скорости  
частиц.

Так, средняя скорость встречи метеоритов с Землей оценивается в  
20—30 км/сек.

Дадим для сравнения несколько величин, характеризующих тепловой  
эффект процессов (в ккал/г).

Нагревание и плавление силиката поглощается 0,4—0,5

Взрыв тротила ~ 3,5

C + O<sub>2</sub> → CO<sub>2</sub> 7,8 исходного вещества

Fe + O<sub>2</sub> → Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1,59 » »

Механизм рассеивания этой энергии может быть различным в зави-  
симости от скорости и размера частиц и плотности тормозящей их атмо-  
сферы. Можно выделить следующие типичные случаи при встрече части-  
цы с Землей [9—15]:

1. Очень мелкие частицы (<10<sup>-3</sup> см) настолько быстро рассеивают  
выделяющееся тепло, что не могут нагреваться до плавления.

2. Частицы больших размеров, образуя явление метеора, плавятся и  
испаряются в атмосфере, расплываясь нацело и образуя мельчайшие  
капельки сдувания или конденсации пара. Процесс испарения преобла-  
дает при больших скоростях и в верхних слоях атмосферы [9, 15].

3. Достаточно плотные и летящие с малой скоростью тела, разогре-  
ваясь только с поверхности (болиды), теряют испарением и сдуванием

расплавленной пленки при пролете через атмосферу более 80% первоначальной массы, остаток которой, потерявший космическую скорость, выпадает в виде метеорита [10]. Пока спорным остается соотношение масс, потерянных через испарение [9] и плавление [11], которое меняется на разных этапах падения метеорита. Как показывает изучение спектров болидов и их ионизованных следов, роль испарения должна быть достаточно большой.

4. Очень крупные тела, сильно уменьшаясь в размерах, не успевают потерять скорость и при ударе о поверхность Земли взрываются за счет мгновенного превращения в пар под влиянием перехода кинетической энергии в тепловую, что мы видим на примере кратерообразующих метеоритов [12, 13].

Таблица 2

Видоизменение частиц при прохождении через атмосферу со скоростью 16 км/сек (по Е. Дж. Эпику)

Диаметр, мк ( $10^{-4}$ см)	Первоначальное распределение числа частиц по Ван де Холсту	Из них частиц		
		превратились в пар	расплавились (шарики)	остались угловатыми
300—190	36	36	0	0
190—120	77	74	2	1
120—75	160	145	12	3
75—47	330	252	62	16
47—30	690	280	330	80
30—19	1400	0	1000	400
19—12	2900	0	900	2000

5. Достаточно рыхлые тела способны взорваться при дроблении и торможении в атмосфере, что мы видим как на примере падения некоторых метеоров [15], так и таких гигантских тел, как Тунгусский «метеорит» [16]. *Флоренский, 1963* *Четанович, 1958*

6. При соударении с небесным телом, лишенным атмосферы, метеорная частица, не теряя космической скорости и подвергается мгновенному раздроблению, плавлению и испарению, относительная роль которых будет зависеть от скорости удара. При скорости, равной приблизительно 5 км/сек, действие метеорита эквивалентно действию такой же массы, взрывчатого вещества. При больших скоростях удара ( $V > 10$  км/сек) начальные давления превосходят  $10^6$  кг/см<sup>2</sup> [14] и образуется плотный электронный (вырожденный) газ с температурой в сотни тысяч градусов.

Общим во всех случаях падения является то, что существенная часть космического вещества, выпадающего на планету, претерпевает не только дробление, но проходит кратковременную стадию испарения или плавления. Этот процесс связан с размером протопланеты и менее зависит от отсутствия или наличия атмосферы на ней. Наличие и характер атмосферы меняет относительную роль испарения, плавления и дробления частиц, но не меняет принципиального существа процесса.

В настоящее время идет большая работа по изучению внепланетной составляющей Солнечной системы, которая может еще изменить наше представление о ее характере [17, 18]. Однако в первом приближении принимается [9, 15 и др.], что число метеоров данной массы обратно пропорционально величине самой массы, т. е. в определенном интервале размеров заключается приблизительно постоянная масса вещества. Тогда для современной Земли, приняв минимальный размер разогревающегося до свечения метеора в  $10^{-4}$  см ( $10^{-10}$  г), мы после широкой экстраполяции получаем, что сейчас проходят через атмосферу тела размером в  $10^{-22}$ — $10^{-10}$  г (12 порядков) без существенного изменения и тела  $10^{-9}$ — $10^{-8}$  г (17 порядков), существенно изменяющиеся при падении.

Е. Дж. Эпик [19] дает видоизменение частиц, проникающих в атмосферу со скоростью 16 км/сек, представленное на табл. 2.

Вероятно, будет предельно осторожным сказать, что стадию плавления и испарения проходит значительная доля всей массы метеорных тел. При ударах в отсутствие атмосферы процесс переплавления и перегонки возникает многократно, что еще увеличивает количество измененного вещества. Так, В. В. Шаронов [20] допускает, что на Луне масса испаренного и сконденсировавшегося материала может превышать в 5000 раз массу метеорита при ударе; вероятно, это является преувеличением, так как при этом не учтена энергия механического разрушения тел.

Таблица 3

Содержание летучих элементов в углистых хондритах и удельный вес метеоритов (Н. В. Вик [21])

Элемент	Группы углистых хондритов		
	I	II	III
C	2,7—4,8	1,3—4,0	0,4—1,1
H	1,8—2,4	1,0—1,8	0,2—0,5
S	5,0—6,7	2,6—5,4	2,1—2,5
N	0,29—0,24	0,07—0,26	0,01—0,22
O	42—47	36—44	36—38
Уд. вес	2,2	2,6—2,9	3,4—3,6

сейчас склонны признавать как наибольшее приближение по составу к первичному веществу [22, 23], слагавшему протопланету.

При пересчете анализов на основной летучий компонент это отвечает содержанию  $H_2O$  в 20,08—13,5—0,99% по соответствующим группам. Поскольку мы не делаем количественных подсчетов, а даем качественную характеристику процесса, достаточно указать, что среднее содержание воды в каменных хондритах А. П. Виноградов [1, 3] принимает в 0,5% и соответственно уменьшенное содержание других летучих (Cl, F, Vg, инертные газы и ряд других элементов).

Уместно напомнить, что газы, выделяющиеся из метеоритов в вакууме при нагревании, близки к вулканическим газам и, не считая воды, конденсирующихся веществ и редких компонентов, их состав давно известен по классическим опытам Р. Ф. Чемберлена [24] и ряда других исследователей [25].

Как показывают наши опыты [26], процесс мгновенного плавления зернышек метеоритных минералов на воздухе сопровождается бурным выделением газов, в результате чего образующиеся капельки проходят пеннообразную стадию, стадию пузырька и лишь затем сливаются в сплошной шарик, образуя полный морфологический ряд, аналогичный шарикам внеземной пыли [10, 11, 17, 18]. Такой процесс наблюдается и на коре плавления метеоритов [11], правда в ослабленной степени, вследствие сравнительно медленного ее остывания. При медленном нагревании частичек газ успевает выделиться диффузионным путем и пенообразование не наблюдается.

Образование тонкой коры плавления метеоритов и тонкое распыление расплавленного вещества не безразлично и для труднолетучих ком-

Рассмотрим химическое значение этих явлений.

**Плавление.** Хорошо известно, что плавление метеоритов, как и всех земных пород, сопровождается выделением летучих компонентов. Представление о верхнем содержании летучих в метеоритах можно получить из содержания их в углистых хондритах [21], приведенных в табл. 3, которые

Таблица 4

Средний состав газов, выделяющихся при накаливании метеоритов в вакууме в объемах породы, при нормальных условиях (по Р. Ф. Чемберлену, [24])

Метеориты	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Сумма
Каменные	3,77	0,24	0,20	0,50	0,09	4,80
Железные	0,21	0,67	0,02	1,67	0,24	2,83

*Алоренов и др. 1965.*

понентов [26]. В металлургии достаточно хорошо известны процессы избирательного окисления сплавов с поверхности [27], которые имеют аналогию с образованием коры плавления метеоритов и изменением состава метеорных шариков по диаметру [17, 26, 28].

По нашим опытам исходный сплав Fe+Ni с 10% Ni при обдувании поверхности мощной сварочной горелкой образует застывшие капельки сдувания, в которых содержание Ni колеблется в широком интервале (0,1—15%), причем такое колебание состава обнаруживается и в пределах одного шарика, если он состоит из окисной пленки и металлического ядра, которое существенно обогащается Ni при обеднении им окисной пленки. Отличия в составе распыленного вещества наблюдаются и при отсутствии поверхностного окисления за счет равновесий фаз при значительном влиянии поверхностных сил, радиус действия которых оказывается соизмеримым с размерами распыляющихся капель и толщиной расплавленной пленки. Экспериментально удается хорошо проследить расслоение мелких силикатных шариков на каменную и металловидную фазы, которое часто сопровождается полным выпадением и обособлением последней [26].

Характерно, что такое распадение наблюдается как при инконгруэнтном плавлении метасиликатов, так и при плавлении оливина, что подтверждается не только нашими опытами, но фазовыми диаграммами [29], из которых видно, что при давлении кислорода менее  $10^{-12}$  атм фаялит при плавлении разлагается по реакции



а при плавлении на воздухе система разлагается на  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и  $\text{SiO}_2$  с расслоением при  $1670^\circ$ . Присутствие магния принципиально не меняет общей картины. Реакция наблюдается как в отдельных микрокапельках, так и по общему потемнению метеоритов, происходящему при их нагревании [30].

В природных условиях мы видим аналогию этого процесса в нахождении слипшихся стеклянных и металлических шариков, найденных в районе падения Тунгусского метеорита и описанных О. А. Кировой [18], и в заметном понижении показателя преломления стеклянных космических шариков по сравнению с типичными метеоритными минералами.

Показатели преломления стеклянных шариков  
внеземной пыли [17]

Автор	Год	Показатель преломления
Баддхью	1950	1,524—1,560
Хасегава	1959	1,524—1,560
Паркин, Хунтер и Броун-лев	1962	1,540—1,549
Кирова	1962	1,574—1,590
Бруун	1955	1,63—1,66

Испарение метеорных тел сложного состава приводит к гораздо более глубоким изменениям вещества тугоплавкой фракции. Наблюдаемые спектры метеоров состоят из полос ионизированных и нейтральных атомов. Эффективная температура метеоров определяется в  $2000\text{—}3000^\circ\text{C}$  [15], значительно более высокая температура — в сотни тысяч градусов возникает на фронте ударной волны при полете метеора и при ударах его о твердое препятствие. Изменения состава силикатов при испарении с явлениями термической диссоциации достаточно известны в спектральном анализе, где они являются серьезной помехой вследствие фракционной летучести элементов [31]. Можно утверждать, что подавляющее большинство силикатов при испарении диссоциирует и продукты конденсации пара химически не соответствуют исходному веществу. Вероятнее всего, что в них, кроме атомов, будут преобладать очень простые соеди-

нения — такие как  $KCl$ ,  $NaCl$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SiO$  — при испарении в окислительной атмосфере и соответствующие простейшие комбинации при другом составе атмосферы.

В связи с этим можно напомнить два обстоятельства. Во всех попытках количественного изучения внеземной пыли можно видеть резкий дефицит силикатных шариков по сравнению с магнетитовыми. Может быть несколько причин этого явления: а) сложность выделения силикатных шариков, в) характерные пенистые и пузыристые структуры их, возникающие в результате большой вязкости силикатов и приводящие к очень хрупким образованиям малого удельного веса, с) термическая диссоциация силикатов на химически активные компоненты, дающая неизвестные продукты конденсации. На последнее следует обратить серьезное внимание.

Характерным является также то, что попытки оценить количество космического вещества, выпадающего на Землю в настоящее время, методом прямого подсчета частиц (или метеоров) и методами химического анализа  $Ni$  или  $Fe$  во льдах, океанической красной глине и современной пыли [32, 33, 34] приводят к расхождению оценок на несколько порядков с увеличением результатов по химическим методам. Возможно, что это не случайно и отражает глубокую фракционировку вещества в атмосфере.

Геохимическое значение тех изменений вещества, которые оно претерпевает при падении на Землю, может быть очень невелико сейчас, по сравнению с другими геологическими факторами. Им нельзя пренебрегать, рассматривая ведущее значение процесса аггломерации при формировании планеты.

Как видно из табл. 1, уже при скоростях падения около  $2 \text{ км/сек}$  выделяется достаточно тепла, чтобы полностью расплавить падающее тело, если бы не происходило рассеивание и перераспределение энергии. Процессы частичного плавления и испарения, несомненно, будут иметь место. Таким образом, начиная приблизительно с  $0,01$  массы Земли, все выпадающее в дальнейшем вещество будет проходить стадию кратковременного нагревания во все возрастающей степени.

Неизбежная дегазация метеорных тел с разогревом при ударе должна была привести к образованию атмосферы и гидросферы еще во время аггломеративного роста планеты, по мере выпадения новых частиц. На необходимость такого процесса указывал еще О. Ю. Шмидт [35]. Однако эта «ранняя» атмосфера не имеет ничего общего с «первичной» атмосферой старых авторов, представлявших образование Земли как конденсацию газового облака. Во время роста Земли характерно одновременное возникновение двух противоположных процессов, положивших начало геохимическим циклам: процесса дифференциации вещества на поверхности планеты и частичное захоронение видоизмененных веществ последующими выпадениями. Ввиду того, что таким путем перерабатывается очень большая масса вещества, даже небольшой коэффициент разделения его должен привести к существенным результатам. Как уже говорилось, процесс разделения вещества сохраняет свое значение и после образования атмосферы, разогрев в которой начинает преобладать над разогревом при ударе.

Таким образом, гораздо ранее радиоактивного разогрева и последующего периода дегазации, который наступает по расчетам Е. А. Любимовой через  $1-2 \cdot 10^9$  лет после формирования планеты [36], вблизи поверхности Земли создается зона кратковременных точечных, но неоднократных плавлений, через которую должна пройти большая часть вещества. В действии этой зоны нельзя не усмотреть существенную аналогию с зонным плавлением, на роль которого указывает А. П. Виноградов.

При этом необходимо учесть две особенности. Во-первых, процесс плавления очень кратковременен и закаливается в области высоких температур, так что существенное значение должно иметь стекловатое со-

стояние минералов. Во-вторых, захоронению подвергается уже сильно видоизмененное, дегазированное вещество, в котором содержится значительное количество продуктов термической диссоциации и конденсации даже очень тугоплавких соединений, обладающих большой свободной химической энергией. В виде последней погребается большая доля энергии падения, что создает предпосылки для возникновения процесса метаморфизма с выделением тепловой энергии, аналогично тому, что мы видим в современном захоронении энергии Солнца осадочным процессом [37, 38]. Зона метаморфизма должна создавать первичную тепловую неоднородность Земли и соответствовать второй зоне активных химических реакций. Таким образом, возникают два тепловых барьера, препятствующих проникновению летучих соединений в глубь Земли.

В этой связи необходимо обратить внимание на то, что в последнее время фактически игнорируется ряд несомненно действующих источников тепловой энергии Земли — отчасти вследствие трудности их подсчета, а главным образом — как избыточные и приводящие к необходимости перегрева планеты, что вступает в противоречие с известными геохимическими данными. Упомянутый механизм сброса тепла [8] снимает это противоречие и заслуживает тщательного изучения.

Как показывают расчеты В. С. Сафронова [39], сделанные из предположения о времени агломерации Земли в течение  $10^8$  лет, несмотря на мощное выделение кинетической энергии на ее поверхности, оно не приводило к заметному перегреву поверхностных слоев в среднем, вследствие существенного переизлучения тепла в окружающее пространство.

Таким образом, не исключается возможность существования жидкой гидросферы, начиная с самых ранних этапов формирования Земли. Последнее представляет особую важность не только вследствие мощности и избирательности дифференциации вещества в водной среде, но и вследствие возможности пространственного разобщения отдифференцированных продуктов. Как уже говорилось, масса веществ, прошедших цикл разделения — захоронения, должна существенно превышать общую массу земной коры.

Уместно напомнить классические представления петрологов (Левинсон-Лессинг и др.) о существовании двух несводимых типов магмы, разделение которых не может быть сведено к кристаллизационной дифференциации и процессам зонного плавления. Как показывают расчеты Е. Н. Люстиха и А. Я. Салтыковского [40], образование гранитов не может быть объяснено в пределах земной коры и требует участия больших масс исходного вещества. Возможность осадочной дифференциации, на значение которой указывает, например, Т. Ф. Барт [41] и через которую могло пройти вещество Земли на самом раннем этапе, заставляет совершенно иначе рассматривать эти процессы и допускать глубокую начальную неоднородность вещества Земли.

На наличие мощного процесса разделения вещества уже на ранних стадиях развития планеты указывает, например, строение Луны, имеющей существенно разный цвет «материков» и «морей», который остается заметным, несмотря на невеликое выпадение космической пыли и метеоритов [42]. Такое разделение трудно объяснить, исходя только из радиогенного плавления вещества Луны [43], в то время как существование временной и теперь потерянной гидросферы имеет ряд сторонников [4, 20]. Среди пород, слагающих поверхность Луны, должны присутствовать продукты диссоциации силикатов.

В связи с выясняющейся ролью гидросферы, которая росла параллельно с общим ростом Земли, интересно отметить, что представление об очень кислом характере первичного океана [5, 6, 44], основанное на составе продуктов дегазации, аналогичных современным вулканическим эманациям, нуждается в значительном пересмотре.



Кислые газы представляют наиболее летучую фракцию пород, выделяющуюся при плавлении. При более высоких температурах (взрыв при ударе, испарение метеоров) происходит распадение силикатов и выделение легкорастворимых соединений щелочных и щелочноземельных металлов.

Ввиду того, что их количество в силикатах на порядки больше, чем количество кислых газов, есть все основания думать, что водная вытяжка суммарного продукта перегрева будет иметь нейтральную или даже щелочную, а не кислую реакцию. Допустимо, что параллельный рост Земли и ее гидросферы обеспечивал сравнительное постоянство состава Океана. Таким образом, возникает полная вероятность того, что в обычных геологических циклах седиментационный процесс исторически является первичным по отношению к магматическому, который появляется позднее, после достаточного разогрева Земли.

Такие представления не противоречат дальнейшей эволюции вещества хорошо известными путями, но существенно отодвигают начало геологической (а может быть и биологической) истории, которая развивается параллельно с формированием планеты.

#### ВЫВОДЫ

При оценке геохимических следствий из образования Земли путем аггломерации в холодном состоянии рассматривается процесс падения отдельных тел. Кинетическая энергия их приводит к кратковременному расплавлению и испарению существенной доли падающего вещества. Следствием этого является их дегазация и термическая диссоциация силикатов. Так как этот процесс захватывает большое количество вещества, даже небольшой коэффициент разделения может привести к существенным результатам. Атмосфера и гидросфера планеты представляют не вторичные образования, а растут параллельно с общим ростом Земли. Первичный океан может быть не кислым, а нейтральным (или даже щелочным) за счет растворимых продуктов испарения силикатов. В седиментационный процесс вовлекаются большие количества вещества растущей Земли, которые погребаются последующими выпадениями, давая начало геохимическим циклам и захватывая свободную химическую энергию, приводящую к формированию зоны метаморфизма. Таким образом, изначально в Земле создаются две зоны активных химических реакций и предпосылки для образования глубоких неоднородностей земной коры, а «геологические» процессы формируются уже во время образования планеты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов А. П. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 10, 1959.
2. Виноградов А. П. Химическая эволюция Земли. Первое чтение имени В. И. Вернадского. Изд-во АН СССР, 1959.
3. Виноградов А. П. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 11, 1962.
4. Urey H. C. The planets, their origin and development. Yale Univ. Press New Haven, Conn., 1952.
5. Руби В. В. В сб. «Земная кора». Изд-во иностр. лит., М., стр. 650, 1957.
6. Полдерварт П. А. В сб.: «Земная кора», Изд-во иностр. лит., М., 1957, стр. 130.
7. Ярошевский А. А. В сб.: «Химия земной коры». Тр. геохимической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Вернадского. Изд-во АН СССР, т. II, 1964.
8. Виноградов А. П., Ярошевский А. А. Геохимия, № 7, 1965.
9. Левин Б. Ю. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе. Изд-во АН СССР, 1956.
10. Кринов Е. Л. Основы метеоритики. Гостехиздат, М., 1955.
11. Кринов Е. Л. Метеоритика, вып. 13, 1956.
12. Станюкович К. П., Федьинский В. В. Докл. АН СССР, 57, № 2, 1947.
13. Станюкович К. П. Метеоритика, вып. 7, 1950.
14. Станюкович К. П., Бронштэн В. А. В сб.: «Луна», Физматгиз, М., гл. 8, 1960.
15. Астапович И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли. М., 1958.
16. Флоренский К. П. Геохимия, № 3, 1963.



17. Schmidt R. A. A survey of data on microscopic extraterrestrial particles. Univ. of Wisconsin. Res. Rep. Ser. 63, January, 1963.
18. Cosmic dust (Conference on Cosmic dust held by N. Y. Acad. Sci. on November 1963). Annales of the New York Academy of Science, vol. 119, Art. I, p. 1—368, November 11, 1964.
19. Орік E. J., Irish Astron. J., VI, 145, 1951.
20. Шаронов В. В. В сб.: «Луна». Физматгиз, М., гл. 9, 1960.
21. Wiik H. B. Geochim. et Cosmochim. Acta, 9, 279, 1956.
22. Ringwood A. E. Present status of the chondritic Earth model Res. of Met., p. 198, 1962.
23. Mason B. J. Geophys. Res., 65, 2965, 1960.
24. Chamberlin R. Th. Carnegie Inst., 106, 27, 1908.
25. Farrington O. C. Meteorites. Chicago, 1915.
26. Флоренский К. П., Иванов А. В., Ильин Н. П., Петрикова М. Н. Тунгусское падение 1908 г. и некоторые вопросы дифференциации вещества химических тел. Тезисы докладов на XX конгрессе ЮПАК. Секция космической химии. Изд-во «Наука», М., 1965. (в печати).
27. Игнатов Д. В., Шамгунова Р. Д. О механизме окисления сплавов на основе никеля и хрома. Изд-во АН СССР, 1960.
28. Castaing R., Fredriksson K. Geochim. et Cosmochim. Acta, 14, № 1/2, 114, 1958.
29. Muir A., Osborn E. F. Phase equilibria among oxides in steelmaking. Pennsylvania State University, Addison-Wesley Publ. Co, 1965.
30. Дьяконова М. И., Харитонов В. Я. Метеоритика, вып. 24, 1964.
31. Русанов А. К. Спектральный анализ руд и минералов. Госгеолыздат, М., 1948.
32. Брока Ж., Пиччиотто Е. Оценка скорости аккумуляции космического вещества по содержанию никеля в антарктическом льде. Тезисы докладов на XX конгрессе ЮПАК. Секция космической химии. Изд-во «Наука», М., 1965 (в печати).
33. Grjebine T. Compt. rend. Acad. Sci. Paris, 1963, 256, p. 3735—3738; T. Grjebine. Study on distribution of cosmic dust. См. также: Conference on Cosmic dust, November 21 a 22, 1963, N. Y. Acad. of Science, section of Geol. Sci. a. Sect. of Planetary, Sci.
34. Petterson H., Rotschi H. Geochim. et cosmochim. acta, 2, 81, 1952.
35. Шмидт О. Ю. Четыре лекции о происхождении Земли. Изд-во АН СССР, стр. 78, 1962.
36. Любимова Е. А. В сб. Вопросы внутреннего строения и развития Земли. Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, № 26 (153), 1955.
37. Белов Н. В., Лебедев В. И. Природа, № 5, 1957.
38. Saul V. A. Geochim. et Cosmochim. Acta, 8, № 1/2, 1955.
39. Сафронов В. С. В сб. Вопросы космогении, Изд-во АН СССР, т. VII, 1960; См. также Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 1, стр. 139, 1959.
40. Люстих Е. Н., Салтыковский А. Я. Геохимия, № 4, 1961.
41. Барт Т. Ф. Геохимия, № 4, 1962.
42. Сытинская Н. Н. В сб. «Новое о Луне». Изд-во АН СССР, 1963.
43. Левин Б. Ю., Маева С. В., Докл. АН СССР, 133, № 1, 1960.
44. Ронов А. Б. Геохимия, № 8, 1964.

## ON THE INITIAL DIFFERENTIATION STAGE OF THE EARTH'S MATERIAL

K. P. FLORENSKY

V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,  
Academy of Sciences, USSR, Moscow

In estimating the geochemical consequences of the Earth formation by agglomeration in a cold state, the process of the fall of separate bodies is considered. Their kinetic energy leads to a transitory fusion and evaporation of a substantial part of the falling material. A consequence of this is their degassing and the thermal dissociation of silicates. As this process is entrapping a great amount of material, even a small separation coefficient may lead to important results. The atmosphere and the hydrosphere of the planet are not secondary formations but are growing simultaneously with the general growth of the Earth. The initial ocean may not be acid but neutral (or even alkaline) at the expense of soluble evaporation products of silicates. In the sedimentation process great amounts of the growing Earth are involved which are buried by the following fallouts, initiating geochemical cycles and capturing the free chemical energy which leads to the formation of a zone of metamorphism. Thus primarily in the Earth are created two zones of active chemical reactions and preconditions for the formation of deep heterogeneities of the Earth's crust, the «geological» processes developing during planet formation.