

СОВРЕМЕННЫЕ ДАННЫЕ О ГОРЯЧЕЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ АККРЕЦИИ ЗЕМЛИ – ОСНОВА НАУЧНОЙ РЕВОЛЮЦИИ В ПЕТРОЛОГИИ

В. С. Шкодзинский

ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов
СО РАН, Якутск

Поступила в редакцию 14 октября 2015 г.

Аннотация: приведены доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли. Показано, что петрологические концепции, основанные на гипотезе холодной гомогенной аккреции, находятся в противоречии с эмпирическими данными. Учет горячей гетерогенной аккреции принципиально по-новому полностью решает все дискуссионные проблемы и приводит к научной революции в петрологии.

Ключевые слова: горячая гетерогенная аккреция, происхождение Земли, генезис магматических и метаморфических пород.

MODERN DATA ABOUT HOT HETEROGENEOUS ACCRETION OF THE EARTH – BASE OF SCIENTIFIC REVOLUTION IN PETROLOGY

ABSTRACT: WAS SHOWN, THAT EMPIRICAL DATA CONTRADICT TO PETROLOGICAL CONCEPTIONS BASED ON COLD HOMOGENEOUS ACCRETION OF THE EARTH. CONSIDERATION OF DATA ABOUT HOT HETEROGENEOUS ACCRETION NEWLY COMPLETELY SOLVES ALL DISCUSSION PROBLEMS AND CAUSE SCIENTIFIC REVOLUTION IN PETROLOGY.

KEY WORDS: HOT HETEROGENEOUS ACCRETION, ORIGIN OF THE EARTH, GENESIS OF MAGMATIC AND METAMORPHIC ROCKS.

Доказательства горячей аккреции Земли

Важным революционным достижением планетологии и петрологии за последние десятилетия является получение убедительных доказательств «горячего» образования планет земной группы и фракционирования на них глобальных океанов магмы глубиной в сотни – тысячи километров. К их числу относятся установленный в результате полетов на Луну магматический генезис всех ее коренных пород, их очень древний возраст (обычно более 4 млрд лет), часто сильно фракционированный состав (высокое содержание компонентов, накапливавшихся в остаточных расплавах), преимущественно анортозитовый состав и большая мощность (до 100 км) ее коры [1]. Такая кора сформировалась в результате всплывания плагиоклаза в кристаллизовавшемся глобальном океане магмы глубиной около 1000 км. О существовании подобного океана на Земле свидетельствуют присутствие трендов магматического фракционирования в мантийных ксенолитах из кимберлитов (рис. 1 и линия MgO на рис. 2), уменьшение среднего изотопного возраста и температуры кристаллизации различных верхнемантийных пород в соответствии с последовательностью их формирования при магматическом фракционировании (рис. 2), проекции линий геотермических палеоградиентов мантийных и раннедокембрийских метаморфических пород в область очень высокой температуры на земной поверхности (до 1000 °С) и ряд других данных [2, 3].

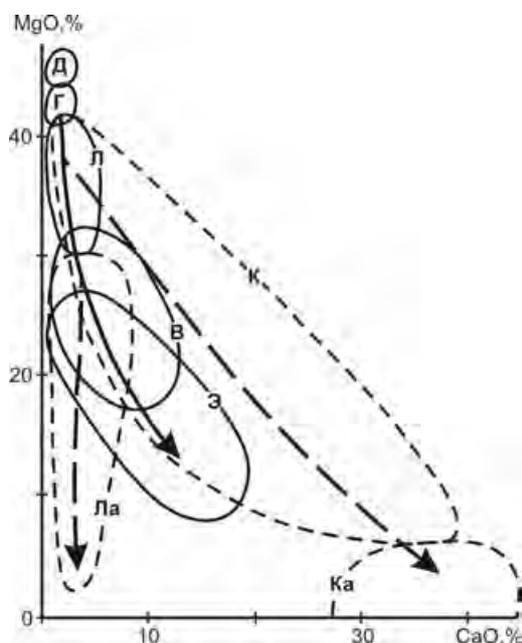


Рис. 1. Соотношение MgO – CaO в мантийных породах. Поля состава ксенолитов: В – вебстеритовых, Г – гарцбургитовых, Д – дунитовых, Л – лерцолитовых, Э – эклогитовых. Поля состава магматических пород: К – кимберлитов, Ка – карбонатов, Ла – лампроитов. Стрелки – эволюция состава кумулатов (сплошная) и остаточных расплавов (пунктирные) [2].

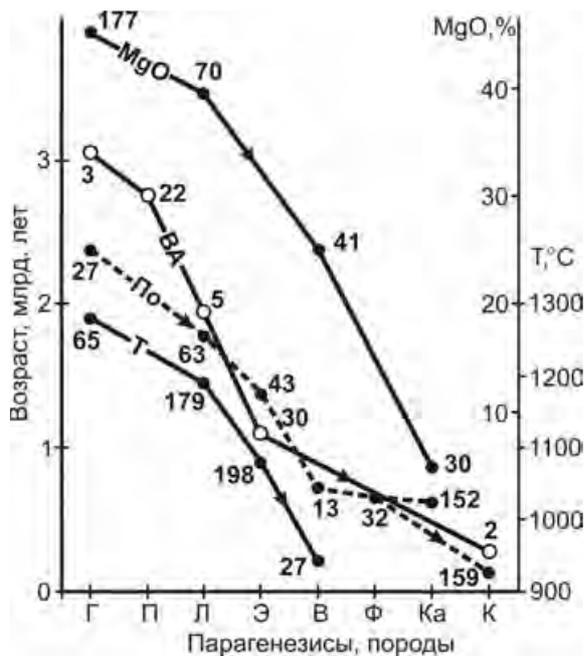


Рис. 2. Средние изотопные возрасты различных мантийных пород из ксенолитов в кимберлитах (линия По), включений в алмазах (линия ВА), средняя температура образования при 5 ГПа (линия Т) и среднее содержание MgO в породах (линия MgO). Составы включений в алмазах и пород: Г – гарцибургитовый, П – перидотитовый нерасчлененный, Л – лерцолитовый, Э – эклогитовый, В – верлитовый и вебстеритовый, Ф – флогопитсодержащие породы, Ка – карбонатиты, Ки – кимберлиты. Числа у точек – количество использованных определений [2].

Недостатки представлений, основанных на гипотезе холодной гомогенной аккреции

«Горячее» образование Земли не учтено в распространенных в настоящее время представлениях о природе глубинных геологических процессов, так как они сложились в середине прошлого столетия, когда господствовала гипотеза О. Ю. Шмидта [4] о формирования Земли в результате холодной гомогенной аккреции. В ней предполагалось, что одновременно слипались холодные силикатные и железные частицы. Железное ядро и силикатная мантия возникли в результате последующего гравитационного разделения этих частиц в земных недрах. Использование в генетических концепциях гипотезы холодной гомогенной аккреции привело к игнорированию в них самого эффективного и массового процесса дифференциации земного вещества, глобального магматического фракционирования. Это сделало невозможным убедительное решение большинства генетических проблем и привело к выдвиганию предположений о существовании малореальных глубинных процессов. Такие предположения в настоящее время пришли в противоречие с многими эмпирическими данными.

Так, многообразие состава магматических пород принято объяснять отделением расплава из частично (на 0,1 – 20 %) подплавленных глубинных пород [5] и процессами привноса в мантию гипотетическими флюидными потоками некогерентных (расплавфиль-

ных) химических компонентов (щелочей, легких редких земель, летучих и др.) [6]. Однако экспериментальные исследования [7] свидетельствуют, что расплав не отделяется от перидотита при плавлении его менее чем на 35 – 40 % вследствие большой прочности его кристаллического каркаса. Это подтверждается обычно отсутствием инъекций во вмещающие породы и, следовательно, автохтонностью анатектического жильного материала, даже при содержании его в 40 – 45 %, в единственном доступном наблюдению примере массового частичного плавления, в раннедокембрийских парагнейсах. Количество анатектического материала в однотипных по составу и метаморфизму породах является выдержанным (рис. 3) во всех регионах [2, 3], что также свидетельствует о его автохтонности. Поэтому анатексис не приводил к образованию кислых магм, как часто предполагается.

В мантийных ксенолитах обычно отсутствуют убедительные признаки частичного плавления и повышения температуры. Наоборот, в них широко распространены явления распада высокотемпературных минералов и замещения низкотемпературными. Судя по минеральным равновесиям в разновозрастных породах ксенолитов из кимберлитов, температура мантии древних платформ на глубине 150 км снижалась примерно на 200 °С за каждый миллиард лет (рис. 2). Поэтому в ней не происходили процессы частичного плавления и отделения выплавов, как обычно предполагается.

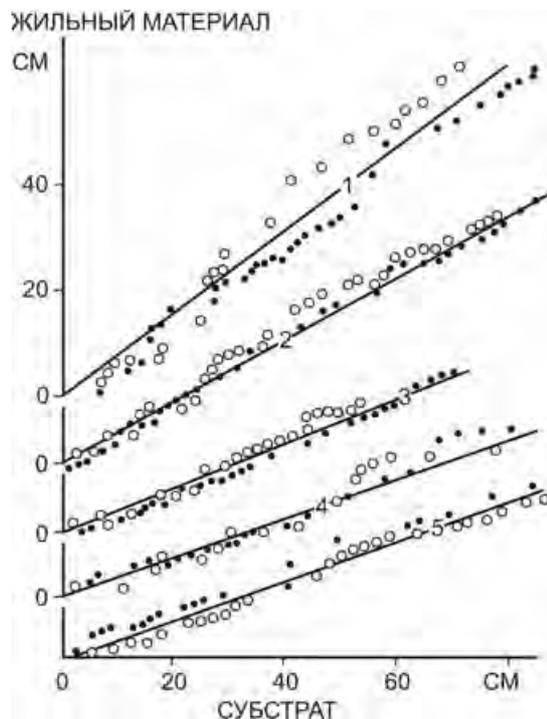


Рис. 3. Соотношение последовательных сумм мощностей (в см) анатектических обособлений и тел субстрата в биотит-гранатовых мигматитах р. Амедичи Алданского щита. Прямолинейность линий соотношений и близкое положение точек разных замеров свидетельствуют о равномерном распределении обособлений в породах одинакового состава [3].

С позиций гипотезы холодной аккреции трудно убедительно объяснить раннее формирование больших объемов кислых магм и кислой кристаллической коры. По экспериментальным данным кислые расплавы в реальных бедных водой мафических породах могли формироваться при малобарическом (менее 0,3 ГПа) начальном (на 1–3 %) частичном их плавлении [6]. Но при холодном образовании на Земле не могли происходить массовые процессы частичного плавления первичных ультраосновных пород на глубине менее 10–12 км, где давление было ниже 0,3 ГПа. Попыткам объяснить генезис этих расплавов выплавлением их из мантийных эклогитов [8, 9] и базитов противоречит отсутствие кислых обособлений в многочисленных ксенолитах эклогитов из кимберлитов и намного большая древность кислой кристаллической коры (3,8–2 млрд лет) по сравнению с верхнемантийными эклогитами (в среднем 1,4 млрд лет, рис. 2).

Мантийные породы очень бедны летучими компонентами (обычно доли %), поэтому в них нет источников флюида. Нет их и в ядре, судя по бедности ими железных метеоритов, являющихся чаще всего обломками ядер разрушенных мелких планет [10]. Вследствие очень высокого давления в мантии не могут существовать сообщающиеся открытые трещины и поры, необходимые для движения флюида. Судя по многочисленным экспериментальным данным, температура мантии на сотни градусов выше солидуса ее пород в присутствии флюидной фазы. Поэтому мантия полностью расплавилась бы в случае содержания в ней флюида [2, 3]. Следовательно, преимущественно твердофазное ее состояние по геофизическим данным указывает на отсутствие в ней флюидной фазы, ее потоков и связанных с ними массовых процессов метасоматоза. Имеющееся небольшое количество летучих в ней полностью растворено в расплаве и в минералах под влиянием очень высокого давления, резко повышающего химическую активность этих компонентов. Присутствие иногда микровключений флюида в мантийных ксенолитах является естественным следствием выделения летучих из остаточных расплавов при их кристаллизации в процессе остывания и не доказывает содержание флюидной фазы в них в условиях мантии.

Это краткое рассмотрение показывает, что основанные на гипотезе холодной аккреции главные положения современных петрологических концепций находятся в противоречии с эмпирическими данными и создают лишь видимость решения генетических проблем. Вследствие массового повторения в течение десятков лет эти положения глубоко укоренились в сознании и не подвергаются сомнению. Но получаемые путем использования ошибочных исходных положений решения частных генетических проблем также в значительной мере являются ошибочными и лишь увеличивают число неясных вопросов. Они приводят к массовому выдвиганию новых недоказуемых противоречивых предположений, которые пло-

хо согласуются с эмпирическими данными и не пригодны для прогноза и поисков большинства полезных ископаемых. По этой причине большие затраты государственных средств и труда тысяч исследователей являются малоэффективными и не приводят к существенному прогрессу петрологической науки. Все это свидетельствует о том, что главные положения ведущих концепций нуждаются в кардинальном пересмотре.

В последнее время в некоторых публикациях признается существование магматического океана [9]. Однако связанные с ним процессы глобального магматического фракционирования не учитываются. Поэтому такое признание является формальным и не позволяет получать правильные решения генетических проблем.

Природа магматических и метаморфических пород в свете данных о горячей гетерогенной аккреции Земли

Учет процессов фракционирования глобального магматического океана впервые позволяет убедительно во всех деталях решить многочисленные генетические вопросы петрологии без предположения существования недоказуемых полуфантастических процессов. Выполненные исследования [2, 3] свидетельствуют, что все ранее непонятные особенности магматических и метаморфических пород прямо или косвенно обусловлены участием в их образовании глобальных процессов магматического фракционирования.

Как показали расчеты Харриса и Тозера [11], скорость слипания намагниченных частиц металлического железа в протопланетном диске была в двадцать тысяч раз больше, чем немагнитных, что за несколько лет привело к возникновению их агрегатов в тысячу и более частиц. Поэтому земное ядро сформировалось раньше силикатной мантии в результате быстрого слипания железных частиц, намагниченных под влиянием магнитного поля Солнца. Быстрая аккреция резко сократила масштабы рассеивания импактного тепла за счет излучения при формировании ядра и обусловила примерно на 1000 °С изначально более высокую температуру его по сравнению с позже сформировавшейся силикатной мантией [2]. Это является причиной последующего подогрева ядром последней и возникновения в ней конвективных потоков. Такой генезис полностью решает дискуссионную проблему природы мантийной конвекции и не требует для ее решения недоказуемого предположения о выделении из ядра в мантийные плюмы разуплотняющих их летучих компонентов.

Возникновение железного ядра раньше силикатной мантии объясняет отсутствие деплетированности ее пород сидерофильными элементами (Ni, Co, Cu, Au и др.) [6]. Такая деплетированность должна была бы существовать в случае обычно предполагаемого совместного выпадения железных и силикатных частиц при аккреции, первоначально сонахождения их в

недрах и последующего гравитационного разделения. Причиной ее должна быть на 1–2 порядка более высокая растворимость этих элементов в металлическом железе по сравнению с силикатами. Однозначным доказательством более поздней аккреции силикатных частиц является и высокая окисленность мантийных пород, по сравнению с железным ядром (широкое распространение магнетита, высокое отношение окисного железа к закисному и др). Фугитивность кислорода при их образовании была на 4 порядка выше, чем в случае равновесности с металлическим железом [12]. Признаки раннего формирования железного ядра по сравнению с силикатной мантией однозначно свидетельствуют о том, что аккреция Земли была гетерогенной, а не гомогенной, как без доказательств принимается в гипотезе О. Ю. Шмидта и в основанных на ней петрологических представлениях.

Выпадавшие затем на сформировавшееся ядро силикатные частицы плавилась в результате главным образом импактного тепловыделения, что привело к образованию магматического океана. В литературе предложено множество моделей кристаллизации земного океана магмы. Обзор их приведен в монографиях [2, 3]. Главными недостатками этих моделей являются обычно игнорирование существования синаккреционной стадии эволюции океана и вытекающий из этого неучет расслоенности его по составу. Такие упрощения не позволяют объяснить генезис главных геосфер и многих особенностей коры и мантии. Поэтому эти модели не пригодны для использования. Как показали выполненные расчеты [2, 3], придонные части возникшего океана магмы при аккреции частично кристаллизовались под влиянием роста давления новообразованных верхних частей и формировали из кумулатов породы нижней мантии, а из остаточных расплавов – различные слои магматического океана. Вследствие незначительной еще глубины океана и пониженной силы тяжести на ранней небольшой Земле придонное фракционирование длительное время было малобарическим, поэтому возникавшие остаточные расплавы варьировали по составу от толеитов до дацитов. Только существование этих массовых малобарических процессов раннего синаккреционного фракционирования позволяет объяснить широкое развитие на Земле гранитоидов и толеитов.

По мере дальнейшей аккреции, вследствие повышения ее интенсивности и температуры под влиянием возрастания силы притяжения увеличивавшейся Земли [2], в магматическом океане формировались все более мафические остаточные расплавы. Они частично всплывали и располагались в соответствии со своей плотностью. Это обусловило возникновение в океане расслоенности по составу. Нижний перидотитовый его слой был намного более плотным (около $2,8 \text{ г/см}^3$), чем верхний кислый ($2,3 \text{ г/см}^3$). Поэтому при остывании в океане не возникла единая конвекция от дна до поверхности. Расслоенный магматический океан глубиной около 240 км после прекращения аккреции длительно (в течение почти всей истории Земли)

затвердевал сверху вниз преимущественно в результате кондуктивных теплопотерь.

Кристаллизация верхнего кислого слоя привела к образованию эндербитов, серых гнейсов кристаллической коры из кумулатов и древних лейкогранитов из остаточных расплавов. Кристаллизация нижних мафических слоев обусловила возникновение мантийной литосферы древних платформ (рис. 4). Это объясняет происхождение и состав данных крупных геосфер.



Рис. 4. Схема кристаллизации постааккреционного расслоенного магматического океана и эволюции магматизма на древних платформах. Состав магм: 1 – кислый, 2 – субщелочной, 3 – анортзитовый, 4 – карбонатитовый, 5 – щелочной, 6 – кимберлитовый.

Обособление остаточных расплавов при кристаллизации ортогнейсов привело к образованию в них большого количества бескорневых гранитоидных обособлений. Причина их автохтонности и массового распространения долгое время была непонятной и обусловила возникновение и длительное существование в прошлом и позапрошлом столетиях гипотезы о формировании этих обособлений путем региональной метасоматической гранитизации. Но признаки инертного поведения всех химических компонентов при их кристаллизации и множество других данных противоречат метасоматическому генезису [2, 3]. Поэтому постепенно широкое распространение получили представления о палингенном происхождении этих образований. Однако в них минеральные парагенезисы являются более низкотемпературными, чем в исходных ортогнейсах, поскольку обогащены гидроксилсодержащими минералами и иногда содержат мусковит и эпидот, отсутствующие в субстрате. Это противоречит палингенному генезису и свидетельствует об их остаточно-магматическом происхождении. Такие обособления, в отличие от анатектических, иногда внедрялись во вмещающие породы, что связано с их образованием в полужидкой среде. Для анатектических обособлений характерна повышенное содержание безводных минералов (граната, кордиерита, гиперстена) в темноцветной составляющей в связи с протеканием реакций дегидратации при плав-

лении. Таким образом, данные о существовании на Земле магматического океана полностью решают крупную проблему природы региональной гранитизации докембрийских гнейсов, которую не удавалось решить в течение двух веков.

Вследствие отсутствия обширной конвекции в расслоенном океане его верхний кислый слой затвердел относительно быстро при сохранении еще полужидкого состояния глубинных плотных слоев. Это является причиной раннего образования кислой кристаллической коры (около 3,8–2 млрд лет назад) и позднего – многих его глубинных дифференциатов (примерно 700 млн лет назад в среднем для верлитовых и вебстеритовых ксенолитов в кимберлитах, 600 млн лет для карбонатитов и 136 млн лет для кимберлитов, рис. 2). Данный вывод подтверждается тем, что наиболее древний пик распространенности коровых цирконов имеет возраст 3,8 млрд лет, тогда как для верхнемантийных цирконов этот возраст существенно меньше и равен 3,4–3,2 млрд лет [13].

Быстрое затвердевание кислого слоя магматического океана объясняет раннее возникновение на кислой коре осадочных пород и живых организмов. Ортопороды на земной поверхности при остывании подвергались интенсивному химическому выветриванию под влиянием горячей газопаровой оболочки. Это выветривание было очень глубоким [14], поскольку большое содержание в газовой оболочке выделявшихся из магматического океана кислотных эманаций (HCl, HF, H₂S и др.) и повышение их химической активности по мере остывания обусловили интенсивное разложение силикатных минералов. В результате оглинивания полевых шпатов и отделения глинистого материала возникали скопления глин и остаточного кварца. Их метаморфизм под влиянием еще горячего основания обусловил формирование крупных тел высокоглиноземистых гнейсов и кварцитов и обычно совместное их нахождение. Это объясняет казавшееся непонятным широкое развитие этих пород в древних комплексах. По мере снижения температуры в первоначально горячих водоемах происходило осаждение карбонатов и образование тел карбонатных пород, характерных для верхних частей раннедокембрийских толщ.

Богатые кислотными эманациями магматического океана горячие дождевые воды выносили железо и кремнекислоту из химически выветрившихся ортопород в ранние водоемы. Это привело к образованию большого количества железистых кварцитов и объясняет их аномально широкое распространение в раннедокембрийских толщах. Вследствие первоначально очень высокой температуры газовой оболочки, отделявшиеся из магматического океана газовые эманации мало остывали, рассеивались в ней и чаще всего не формировали гидротермальные месторождения. Это объясняет обычно безрудность огромных объемов древних гранито-гнейсов в отличие от высокой гидротермальной рудоносности фанерозойских гранитоидов. Накопление рудных компонентов в га-

зово-паровой оболочке привело к массовому образованию стратиформных месторождений меди, свинца, цинка и некоторых других элементов в основном в протерозое, когда эта оболочка остыла, и происходило осаждение из нее рудных компонентов. Это является причиной возникновения большого количества таких месторождений в это время без видимой связи с какими-либо магматическими комплексами [2].

Интенсивные процессы испарения дождевых вод на горячей земной поверхности и конденсации паров в верхней части газопаровой оболочки обусловили мощную ионизацию последней и возникновение многочисленных грозовых разрядов. По современным данным, они способствовали формированию органических соединений и зарождению живых организмов в горячих водоемах. Поэтому благодаря магматическому океану на ранней стадии эволюции Земли существовали очень благоприятные условия для зарождения жизни [2].

Кристаллизация из кислого слоя магматического океана большинства пород кристаллической коры является причиной ареального распространения в них высокотемпературных минеральных парагенезисов гранулитовой и амфиболитовой фаций в отличие от обычно локального зонального в среднем более низкотемпературного метаморфизма более молодых толщ. Такое происхождение объясняет огромную мощность кристаллической коры (до 40–50 км), а также однотипный состав ее пород на всех древних платформах.

Подъем остаточных расплавов из кристаллизовавшихся и фракционировавшихся нижних частей кислого слоя сопровождался формированием кислых магм, сначала малоглубинных с низким содержанием щелочей, затем все более глубинных и щелочных (рис. 4). Это объясняет массовое образование гранитоидов в докембрии. Последующее всплывание и выжимание наиболее кислых полукристаллизованных частей кристаллической коры в областях коллизии приводило к их декомпрессионному и фрикционному (реоморфическому) плавлению и к образованию характерных для этих областей огромных гранитных батолитов. Такой их генезис подтверждается идентичностью их состава с раннедокембрийскими гранитоидами, присутствием только в областях с кислой кристаллической корой и высокими начальными отношениями изотопов стронция (0,705–0,710) в них [3]. Он решает известную проблему природы гранитоидных батолитов, долгое время бывшую предметом дискуссии.

Выжимание плагиоклазовых кумулатов из кислого и основного слоев преимущественно в протерозое обусловило образование автономных анортозитов, возникавших в это время во многих древних щитах. Участие в их формировании кислых и средних магм является причиной значительно более кислого состава в них плагиоклаза (до андезина и олигоклаза) по сравнению с лунными анортозитами (битовнит и анортит) [15]. Подъем остаточных расплавов из ос-

нового слоя магматического океана привел к формированию субщелочных и щелочных средних и основных магм.

Аналогичные процессы в нижнем перидотитовом слое магматического океана обусловили образование карбонатитовых и кимберлитовых остаточных расплавов и магм. Очень длительные (миллиарды лет) процессы накопления расплавофильных компонентов в остаточных расплавах являются причиной гигантского содержания редких элементов (до десятков тысяч хондритовых норм) в карбонатитах и в щелочных магматических породах. Вследствие кристаллизации расслоенного магматического океана сверху вниз его придонный перидотитовый слой фракционировал наиболее поздно. Это обусловило относительно молодой возраст карбонатитов и, особенно, кимберлитов [16] (рис. 2), возникавших из его последних расплавов.

Формирование после кристаллизации перидотитового слоя примерно на 99,9–99,99 % является причиной незначительного объема кимберлитовых расплавов в мантии и обычно небольшого размера сформированных ими тел в земной коре (десятки – сотни метров), а также низкотемпературности их магм (около 500° С после взрыва) [2, 3]. Низкотемпературность привела к затвердеванию (путем остеклования или кристаллизации расплава) кимберлитовых магм на поздних стадиях подъема вследствие выкипания из них при декомпрессии сильнейших плавней – летучих компонентов. Дальнейший подъем сопровождался взрывом верхних частей кимберлитовых колонн под влиянием высокого внутреннего давления законсервированной затвердеванием газовой фазы. Это объясняет образование кимберлитами магмами преимущественно трубок взрыва и обычно отсутствие кимберлитовых лав на земной поверхности. Раздвижение продуктов фракционирования перидотитового слоя под океаническими областями поднимавшимся и растекавшимся веществом плюмов при формировании этих областей является причиной, казалось бы, загадочного отсутствия в них кимберлитов (правило Клиффорда).

Накопление углерода в остаточных расплавах при кристаллизации перидотитового слоя, вследствие незначительной растворимости этого компонента в породообразующих минералах, обусловило длительную (в течение примерно 3 млрд лет) кристаллизацию в них алмазов. Накопление в этих расплавах кремнекислоты привело к возрастанию их вязкости. Это вызвало снижение скорости диффузии в них углерода, увеличение степени пересыщения их этим компонентом, уменьшение площади возникавших слоев роста на кристаллах алмаза и эволюцию их морфологии от гладкогранных октаэдров, к ламинарным октаэдрам и округлым додекаэдрам и далее к кубам и агрегатам. Возрастание степени пересыщения расплавов углеродом обусловило постепенное сокращение при кристаллизации алмазов роли послыстного роста и возрастание роли нормального радиального. Радиаль-

ный рост привел к возникновению на поздних алмазах большого количества различных скульптур [3]. Накопление расплавофильных компонент в остаточных расплавах является причиной постепенного возрастания их содержания в алмазах, особенно азота и легкого изотопа углерода, и эволюции состава минеральных включений в них от перидотитового, к эклогитовому и далее к кимберлитовому. Таким образом, учет фракционирования магматического океана впервые во всех деталях убедительно объясняет многочисленные особенности кимберлитов и их алмазов. Этот пример особенно ярко демонстрирует плодотворность применения концепции горячей аккреции Земли.

При всплывании подогретого ядром нижнемантийного вещества происходило декомпрессионное переплавление в плюмах наиболее легкоплавких пород, эклогитов, возникших путем затвердевания захороненных среди кумулатов тел расплавов синаккреционного магматического океана. Это привело к образованию большого количества основных магм в океанических и континентальных областях. Низкое давление при придонном фракционировании раннего синаккреционного магматического океана является причиной толеитового состава большинства нижнемантийных эклогитов и массового формирования толеитовых магм в нижнемантийных плюмах, поднимавшихся даже под толстой континентальной литосферой. Здесь очень большое давление в астеносфере препятствовало бы образованию толеитовых расплавов, если бы они возникали путем частичного плавления и состав их не был унаследованным от исходных эклогитов. Такой генезис объясняет толеитовый состав большинства базитов в районах кимберлитового магматизма, где литосфера имела особенно большую мощность.

Фракционирование глубинных толеитовых магматических очагов в астеносфере обусловило возникновение остаточных щелочно-основных расплавов и магм (рис. 5). В случае размещения под мощной литосферой континентов их фракционирование, вследствие большого давления, сопровождалось кристаллизацией алмазов [3]. Такое происхождение имеют алмазы лампроитов и крупных россыпей, для которых не удалось установить кимберлитовые источники, несмотря на длительные поиски. Такие россыпи распространены на севере Сибирской платформы, в Вишерском Урале, на юго-западной окраине Африки, на востоке Бразилии и в других регионах. Они приурочены к окраинам платформ, поскольку частично трансформируют крупные разломы, раскалывавшие континенты и возникшие под влиянием подъема родоначальных для алмазов больших плюмов при формировании океанов. На несколько сотен градусов более высокая температура щелочно-основных магм по сравнению с кимберлитовыми обусловила декомпрессионное затвердевание их и взрыв в приповерхностных условиях. Поэтому главная масса продуктов взрыва располагалась не в протяженных диатремах, как при образовании кимберлитов, а формировала на земной

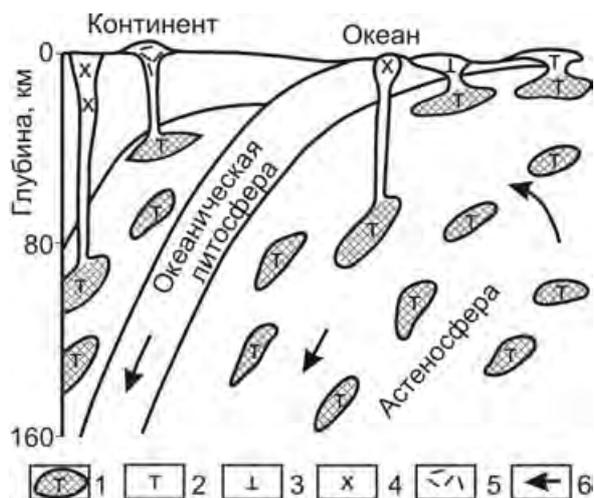


Рис. 5. Схема образования магм в океанах: 1 – очаги толеитовых магм в астеносфере, 2 – недифференцированные магмы срединно-океанических хребтов, 3 – дифференцированные толеитовые магмы океанических островов, 4 – субщелочные и щелочные магмы абиссальных океанических равнин и внешних магматических поясов зон субдукции, 5 – дацит-андезит-базальтовые магмы субдукционных вулканических поясов, 6 – направление потоков в астеносфере.

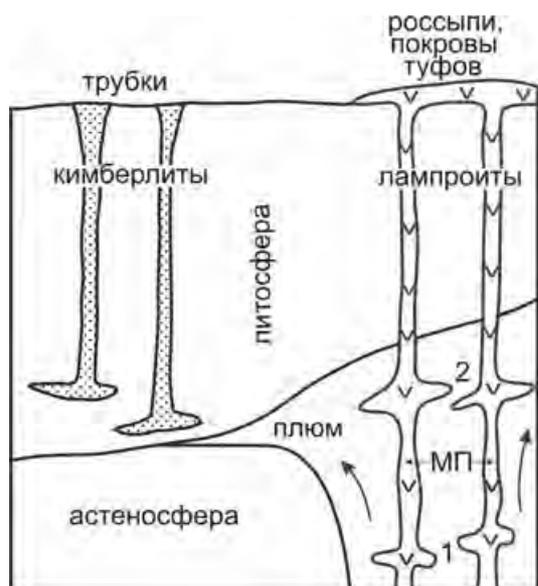


Рис. 6. Схема образования алмазонасных нижнелитосферных кимберлитовых и плюмовых лампроитовых магм. Области кристаллизации плюмовых алмазов: нижнемантийных (1) и верхнемантийных (2). МП – магмопотоки.

поверхности обширные покровы туфов. Вследствие рыхлости и относительно небольшой мощности (десятки сантиметров в районе устья р. Лены и в Бразилии) они очень быстро преобразовывались в россыпи. Это объясняет обычно отсутствие высокоалмазонасных диатрем около крупных россыпей алмазов. Вследствие кристаллизации в поднимавшихся плюмах (рис. 6), в алмазах этих россыпей иногда присутствуют как включения верхней (оливин, гранат, шпинель), так и нижней мантии (Fe-периклаз, MgSi-перовскит) [17]. Образование в огромных плюмах

объясняет обычно большие размеры таких россыпей (до миллионов км² в Южной Америке) и огромные запасы в них алмазов (1–3 млрд карат в прибрежных россыпях юго-западной Африки [18] и около 10 млрд карат в россыпях севера Сибирской платформы [19]). Их алмазы имеет повышенную крупность (в среднем до 2 карат в Африке) и высокое ювелирное качество (до 1000 долларов за карат), поскольку они кристаллизовались в благоприятных для алмазообразования условиях очень высоких давления и температуры. Эти россыпи являются очень перспективным пока еще недооцененным источником алмазов.

Интенсивное малоглубинное фракционирование очагов толеитовых магм в астеносфере под влиянием охлаждения опускавшейся холодной океанической литосферой приводило к формированию кислых магм в зонах субдукции (рис. 5). Крупные гранитные интрузии в окраинно-континентальных зонах иногда формировались в результате декомпрессионно-фрикционного подплавления кислого кристаллического фундамента [3].

Заключение

Таким образом, учет горячей гетерогенной аккреции Земли позволяет *полностью* объяснить природу и особенности состава, возраста и распространения различных пород коры и мантии. Концепция глобального океана магмы является одной из самых плодотворных в петрологии. Вытекающие из нее решения хорошо согласуются со всеми имеющимися эмпирическими данными. Это является очень важным, поскольку только эмпирические данные, а не мнения, являются критериями истины. Поэтому соответствие эмпирическим данным новых положений является неопровержимым доказательством их правильности. Из этого следует очень важный вывод о необходимости перехода геологического сообщества на новую парадигму и отказа от устаревших взглядов при решении разнообразных генетических проблем. Конечно, отказ от привычных представлений, укоренившихся в течение десятилетий, иногда кажется катастрофическим. Однако наука движется вперед, поэтому изменения некоторых ее положений неизбежны. Чем раньше они будут приняты, тем быстрее будет происходить дальнейший научный прогресс.

Очевидно, что необходимо беспристрастное квалифицированное обсуждение новой парадигмы в литературе для ее совершенствования и внедрения в геологическую науку и практику. Открывается обширное поле деятельности по решению многих частных генетических проблем петрологии на основе новой парадигмы. Ясность и простота исходных положений этой парадигмы создают благоприятные условия для широкого использования методов количественного физико-химического моделирования при решении генетических вопросов. В результате может быть создана единая количественная теория глубинных процессов, объясняющая все эмпирические данные.

ЛИТЕРАТУРА

1. SNYDER, G. A Chronology and isotopic constrains on Lunar evolution / G. A. Snyder, L. E. Borg, L. E. Nyquist, L. A. Taylor // The origin of the Earth and Moon. – Univ. of Ariz. Press. – 2000. – P. 361 – 395.
2. Шкодзинский, В. С. Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли) / В. С. Шкодзинский. – Якутск: Изд. СВФУ. – 2014. – 452 с.
3. Шкодзинский, В. С. Генезис литосферы и алмазов. Модель горячей гетерогенной аккреции Земли / В. С. Шкодзинский. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing. – 2015. – 687 с.
4. Шмидт, О. Ю. Происхождение Земли и планет / О. Ю. Шмидт. – М.: Изд-во АН СССР. – 1962. – 132 с.
5. Грин, Д. Х. Состав базальтовых магм как критерий их возникновения при вулканизме / Д. Х. Грин // Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. – М.: Мир. – 1968. – С. 118 – 131.
6. Рингвуд, А. Е. Происхождение Земли и Луны / А. Е. Рингвуд – М.: Недра. – 1982. – 294 с.
7. ARNDT, N. The separation of magmas from partially molten peridotite / N. T. Arnd // Carnegie Inst. Wash. Yeab. – 1977. – V. 76. – P. 424 – 428.
8. Грин, Д. Х. Происхождение магматических пород известково-щелочного ряда / Д. Х. Грин, А. Е. Рингвуд // Петрология верхней мантии. – М.: Мир. – 1968. – С. 118 – 131.
9. Глуховский, М. З. Внеземные факторы и их роль в тектонической эволюции Земли в раннем докембрии / М. З. Глуховский, М. И. Кузьмин // Геология и геофизика, 2015. – Т. 56. – № 7. – С. 1225 – 1249.
10. Додд, Р. Т. Метеориты – петрология и геохимия / Р. Т. Додд. – М.: Мир. – 1986. – 382 с.
11. HARRIS, P. G. Fractionation of iron in the Solar system / P. G. Harris, D. C. Tozer // Nature, 1967. – V. 215. – N. 5109. – P. 1449 – 1451.
12. O'NEIL, H. S. Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth / H. S. O'Neil // Meteoritics, 1990. – V. 25. – N. 4. – P. 395.
13. Добрецов, Н. Л. Ранняя история Земли: роль плейт- и плюм-тектоники и космического фактора / Н. Л. Добрецов, О. М. Туркина // Геология и геофизика, 2015. – Т. 56. – № 7. – С. 1250 – 1274.
14. Савко, А. Д. Кобы выветривания в геологической истории Восточно-Европейской платформы / А. Д. Савко, А. Д. Додатко. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 1991. – 232 с.
15. Богатиков, О. А. Анортозиты СССР / О. А. Богатиков. – М.: Наука. – 1979. – 322 с.
16. Богатиков, О. А. Магматические горные породы. Эволюция магматизма в истории Земли / О. А. Богатиков, С. В. Богданова, А. М. Борсук [и др.] – М.: Наука. – 1987. – 438 с.
17. Каминский, Ф. В. Минералогия и геохимия нижней мантии. Чтения им. В. И. Вернадского. L. / Ф. В. Каминский. – М.: Наука. – 2011. – 65 с.
18. Подчасов, В. М. Россыпи алмазов мира / В. М. Подчасов, М. Н. Евсеев, В. Е. Минорин, В. Г. Черников. – М.: Геоинформарк. – 2005. – 747 с.
19. Похиленко, Н. П. Тайны алмазов Северной Якутии / Н. П. Похиленко. – Наука в Сибири, 2015. – № 13. – С. 4 – 5.

ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН

Шкодзинский В. С., ведущий научный сотрудник, доктор геолого-минералогических наук
E-MAIL: SHKODZINSKIY@DIAMOND.YSN.RU
Тел.: 8-984-106-35-20

DIAMOND AND PRECIOUS METAL GEOLOGY INSTITUTE SB RAS

SHKODZINSKIY V. S., LEADING SCIENTIFIC WORKER, DOCTOR OF THE GEOLOGICAL AND MINERALOGICAL SCIENCES
E-MAIL: SHKODZINSKIY@DIAMOND.YSN.RU
TEL: 8-984-106-35-20