
НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Петрология, минералогия

УДК 552.11

Природа глобальных геологических процессов по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли

В.С. Шкодзинский

*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск, Россия
shkodzinskiy@diamond.ysn.ru*

Аннотация. Распространенные представления о природе геосфер и эндогенных процессов основаны на выдвинутой в середине прошлого столетия упрощенной гипотезе холодной гомогенной аккреции Земли. Полученные в последние десятилетия данные пришли в противоречие с этими представлениями. Установлено, что составы, изотопные возрасты и температуры образования пород кристаллической коры и литосферной мантии соотносятся по законам магматической дифференциации. Это свидетельствует о формировании их в результате фракционирования глобального океана магмы. Сильная химическая неравновесность мантийных пород с металлическим железом указывает на более раннее формирование земного ядра по сравнению с мантией в результате слипания железных частиц под влиянием в основном магнитных сил. Следовательно, аккреция была гетерогенной. Эти результаты приводят к новому решению дискуссионных генетических проблем. Быстрая аккреция ядра обусловила его очень высокую температуру. В последующем разогрев им мантии явился причиной возникновения в ней конвекции. Придонная часть сформировавшегося в результате импактного плавления силикатного океана магмы кристаллизовалась под влиянием роста давления образующихся его верхних частей. Кумулаты сформировали нижнюю мантию, а расположение по плотности разных по составу остаточных расплавов привело к возникновению слоистости в магматическом океане. Небольшая глубина раннего магматического океана и пониженная сила гравитации на еще небольшой Земле обусловили низкое давление при его придонном фракционировании. Это привело к образованию большого количества кислых остаточных расплавов и объясняет раннее формирование кислой кристаллической коры континентов. Вследствие увеличения плотности с глубиной в слоистом океане магмы после прекращения аккреции не возникла обширная конвекция. Поэтому он длительно остывал и кристаллизовался сверху вниз преимущественно в результате кондуктивных теплопотерь и сформировал литосферу древних платформ. Последовательный подъем остаточных расплавов из различных слоев магматического океана обусловил закономерную эволюцию магматизма платформ от кислого к субщелочному и щелочному основному и кимберлитовому. Декомпрессионное плавление эклогитов при подъеме нижнемантийных плюмов приводило к массовому образованию очагов толеитовых магм в астеносфере. Их фракционирование сопровождалось возникновением кислых магм в условиях небольшого давления и щелочных – в условиях большого.

Ключевые слова: горячая гетерогенная аккреция, происхождение кристаллической коры и литосферы, генезис магматических и метаморфических пород.

Genesis of Endogenic Geological Processes According to Data on the Hot Heterogeneous Accretion of the Earth

V.S. Shkodzinskiy

Diamond and Precious Metal Geology Institute, SB RAS; 39 Lenin st., Yakutsk, 677007, Russia; shkodzinskiy@diamond.ysn.ru

Abstract. *Compositions of gneisses from the Early Precambrian crystalline complexes of the Aldan shield and of mantle xenoliths from kimberlites plot along the magmatic fractionation trends. Their isotope age and crystallization temperature decrease in accord with the sequence of their formation during fractionation. This indicates that the crystalline crust and mantle formed as a result of crystallization and fractionation of a layered magma ocean. Evidence of chemical disequilibrium between the mantle rocks and metallic iron suggests that accretion of the Earth's core occurred before that of the silicate mantle under the effect of magnetic forces. In the silicate magma ocean, which originated through impact melting, there occurred processes of compressional crystallization and fractionation of its near-bottom parts. Due to a very low pressure in the incipient magma ocean, the early formed residual melts varied in composition from granites to tholeiites. This provided very early formation of the acid crystalline crust. An increase in temperature during the accretion process resulted in the higher temperature of the upper mantle as compared to the lower one. For this reason the lower mantle plumes did not ascend in the Early Precambrian, and magmas in ancient platforms were forming mainly from residual melts of compositionally varying layers of the magma ocean. In the Phanerozoic, the temperature of the lower mantle became higher than that of the upper one. As a result, lower mantle plumes and oceans came into existence. In the ascending mantle plumes, basic eclogites were subject to decompression melting. Fractionation of the formed magma chambers led to the formation of acid magmas under low pressure conditions and of various alkali-basic magmas under high pressures.*

Key words: magma genesis, magma ocean, Earth's accretion, crust and mantle origin.

Недостатки существующих гипотез

Представления о происхождении Земли являются основой для решения глобальных геологических проблем. На раннем этапе исследований, вследствие недостаточной изученности, широкое распространение получили упрощенные предположения математика О.Ю. Шмидта о том, что Земля образовалась в результате выпадения относительно холодной смеси частиц силикатов и металлического железа, состав которой не изменялся во времени, то есть путем холодной гомогенной аккреции. Эти исходные положения были приняты для удобства математических расчетов и не были доказаны геологическими данными. Но в последующем они послужили основой для вытекающих из них трех главных генетических положений петрологии: о формировании геосфер в результате процессов гравитационной дифференциации земных недр в твердом состоянии, о возникновении магм в результате отделения выплавок в слабо подплавленных (на 0,1–15 %) мантийных перидотитах [1] и об однотипности геологических процессов на ранних и поздних этапах эволюции Земли.

Естественно, что вследствие недоказанности эти положения к настоящему времени пришли в

полное противоречие с большим количеством эмпирических данных. Слабо подплавленные перидотиты имеют на 10–12 порядков более высокую вязкость, чем расплав, и почти не отличаются по прочности от твердых пород [2]. Поэтому выплавки из них не могут отделяться. Например, как показали расчеты, за всю историю Земли выплавки в астеносфере всплыли бы всего на 2 мм и поэтому не могли формировать магмы. Это подтверждается автохтонностью анатектического жильного материала в мигматитах даже при содержании его 30–40 % [3] и отсутствием процессов отделения выплавок в перидотитах, расплавленных в экспериментах менее чем на 35 % [4]. В огромном количестве изученных мантийных ксенолитов из кимберлитов имеются признаки постепенного снижения температуры в континентальной верхней мантии (на 200 61С за каждый миллиард лет), но нет признаков ее разогрева и частичного плавления [5].

Содержания сидерофильных элементов и фугитивность кислорода при кристаллизации в породах мантии являются соответственно на два и на четыре порядка более высокими, чем в случае химической равновесности этих пород с металлическим железом [5–7]. Это

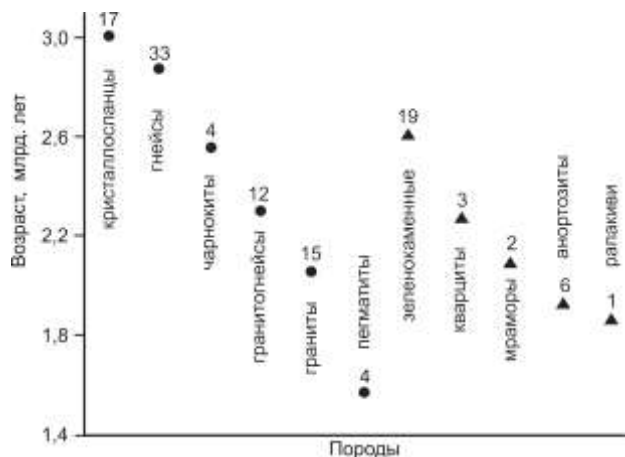


Рис. 1. Уменьшение средних U-Pb и Rb-Sr возрастов различных кристаллических пород Алданского щита в соответствии с последовательностью их формирования при фракционировании магматического океана. Построен по данным [13, 14].

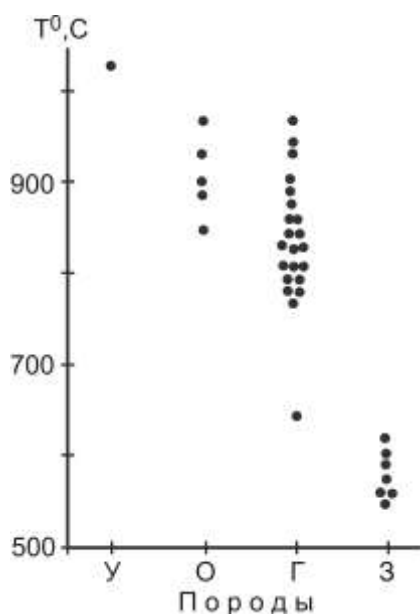


Рис. 2. Уменьшение температуры кристаллизации различных пород Алданского щита в соответствии с последовательностью их формирования. У и О – соответственно ультраосновные и основные кристаллические сланцы, Г – гнейсы, З – породы зеленокаменных поясов. Построен по данным [13, 14].

свидетельствует о том, что силикатные и железные частицы никогда не были перемешаны в земных недрах. Следовательно, они выпадали раздельно. Расчеты Харриса и Тозера [8] объяснили причину их раздельной аккреции. Они показали, что скорость слипания железных частиц под влиянием магнитных сил в протопланетном диске, после остывания его ниже точки Кюри для железа (1043 К), была в двадцать тысяч раз больше, чем силикатных под воздействием гравитационного притяжения. Поэтому при образовании Земли аккреция железных частиц

должна была произойти раньше, чем силикатных, и ядро сформировалось раньше мантии [9, 5]. Следовательно, аккреция была гетерогенной. Это согласуется с изотопными данными [10] о возникновении железных метеоритов и земного ядра не позже чем через 30 миллионов лет после начала образования Солнечной системы.

Получено большое количество доказательств горячего образования Земли и планет земной группы. Существующая на Луне анортозитовая кора мощностью до 100 км могла образоваться только путем всплывания плагиоклаза в глобальном океане магмы глубиной около 1000 км [11]. О присутствии подобного магматического океана на Земле свидетельствуют существование трендов магматического фракционирования в мантийных ксенолитах [5] и в раннедокембрийских кристаллических комплексах [12], уменьшение среднего изотопного возраста (от кристаллосланцев до пегматитов на рис. 1) и температуры кристаллизации (рис. 2) их пород в полном соответствии с последовательностью образования при магматическом фракционировании.

Особенно убедительно об этом свидетельствуют проекции линий наиболее ранних геотермических градиентов раннедокембрийских кристаллических комплексов (рис. 3) и ксенокристаллов клинопироксенов в кимберлитах [5] в область очень высокой температуры на земной поверхности (до 900–1000 °С). На существование магматического океана указывает близость древнейших градиентов (3,5 °/км на рис. 3) к адиабатическому градиенту для расплавов (0,3 °/км) и резкие отличия их от современных градиентов (10–30 °/км и более). Затопленность лавами наиболее древних импактных кратеров на планетах земной группы, особенно на Луне, а также присутствие на Марсе русел пересохших рек и других признаков существования на нем жидкой воды и высокой первоначальной температуры поверхности свидетельствуют о присутствии магматических океанов на ранней стадии эволюции этих планет и об их горячей аккреции.

Генезис ядра и мантии по данным о горячей гетерогенной аккреции Земли

Полученные доказательства горячей гетерогенной аккреции Земли и существования на ней магматического океана приводят к принципиально новому решению всех проблем глобальной петрологии. Из них следует, что железное ядро образовалось раньше силикатной мантии вследствие очень быстрого укрупнения железных частиц в протопланетном диске под влиянием магнитных сил. Быстрое укрупнение при-

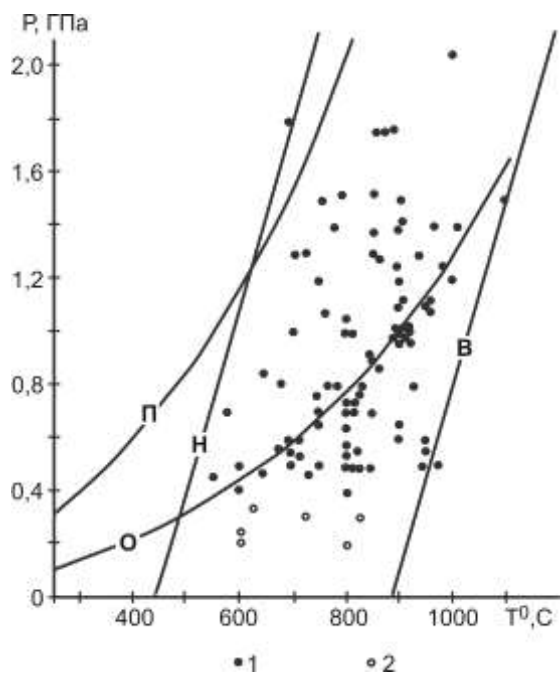


Рис. 3. Соотношение результатов расчетов максимальных температур и давлений (1) и максимальных температур и минимальных давлений (2) при кристаллизации гранулитовых комплексов Аданского, Анабарского, Балтийского и Украинского щитов. О и П – геотермические градиенты соответственно океанов и древних платформ. В и Н – геотермические градиенты соответственно в начале и в конце процессов кристаллизации комплексов. Построен по данным около 80 тезисов, приведенным в Материалах II Российской конференции «Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя», Санкт-Петербург, 2007, 407 с.

вело к падению в основном очень крупных тел железа при аккреции ядра. Величина импактного тепловыделения резко возрастает с увеличением размера падающих тел вследствие сильного уменьшения удельных теплотерь на излучение. Поэтому аккреция ядра сопровождалась намного более сильным его импактным разогревом по сравнению с позже формировавшейся силикатной мантией. Это объясняет существование в настоящее время скачка температуры в примерно 1000–3000 К на границе этих геосфер и очень высокую температуру ядра.

Выпадавший на ядро силикатный материал должен был плавиться под влиянием в основном импактного тепловыделения. Придонные части возникшего океана магмы частично кристаллизовались в результате роста давления образующихся его верхних частей и сформировали в основном из кумулатов породы мантии, а из различных по составу остаточных расплавов – магматический океан. Эти расплавы и недифференцированные импактные мафические магмы располагались в соответствии со своей плотностью и сформировали в магматическом

океане слои от перидотитового до гранитного состава. С геологическими данными лучше всего согласуется [5] его средняя глубина после прекращения аккреции около 240 км. Повышение основности с глубиной привело к возрастанию плотности расплава (от 2,3 до 2,8 г/см³) в этом направлении. Поэтому в магматическом океане при остывании не возникла обширная (от дна до поверхности) конвекция и он длительно затвердевал сверху вниз преимущественно в результате кондуктивных теплопотерь.

При остывании газа солнечного состава температура образования сплава железа и никеля, а также форстерита оценена в 1360 К, энстатита в 1350–1200 К, щелочного полевого шпата примерно в 1000 К, гидратированных силикатов около 300 К [6]. Поэтому на ранней стадии аккреции силикатного материала в протопланетном диске должны были еще отсутствовать низкотемпературные минералы, богатые К₂O, Н₂O и другими расплавофильными элементами. Следовательно, формировавший нижнюю мантию ранний силикатный материал был беден ими. Он должен был состоять в основном из форстерита и энстатита и после процессов импактного плавления сформировал преимущественно гарцбургиты. Это объясняет количественное преобладание этих пород в офиолитах, в океанической мантии и в мантийных ксенолитах. Бедность их литофильными компонентами обусловлена возникновением из ранних конденсатов протопланетного диска и не связана с гипотетическими процессами деплетирования путем отделения выплавов, как обычно предполагается.

Силикатные частицы протопланетного диска постепенно укрупнялись вследствие их слипания под влиянием в основном гравитационных сил. Это приводило к возрастанию импактного разогрева при аккреции вследствие уменьшения удельных теплотерь на излучение. Поэтому температура импактного разогрева сильно возрастала с течением времени. Величина этого возрастания температура различными исследователями оценивается от примерно 800 до 3500°C [5]. Из этого следует важный вывод о существовании обратного геотермического градиента в мантии в раннем докембрии (рис. 4). В верхней ее части располагался слоистый океан магмы. Поэтому в это время не могло происходить всплывание относительно холодного плотного нижнемантийного вещества в более горячую верхнюю мантию и отсутствовала крупномасштабная (от ядра до литосферы) конвекция, современные геодинамические обстановки и глубокие океаны.

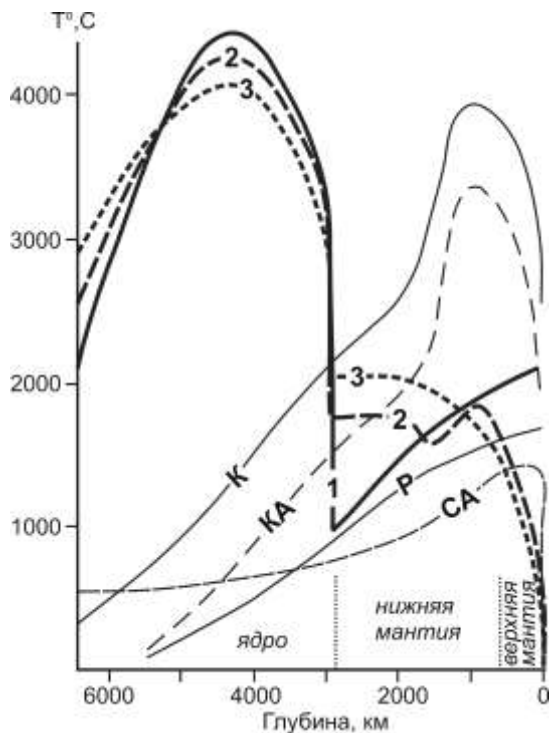


Рис. 4. Эволюция температуры при аккреции Земли по данным В.М. Каулы (КА) и В.С. Сафронова (СА); первичное распределение температуры в недрах Земли по данным В.М. Каулы (К) и А.Е. Рингвуда (Р) [5]; 1 – первичное, 2 – в конце протерозоя, 3 – в фанерозое.

Происхождение раннедокембрийских комплексов и кислой кристаллической коры

Вследствие небольшой глубины раннего магматического океана и пониженной силы тяжести на еще небольшой Земле его придонное фракционирование длительное время происходило при относительно низком (десятые доли ГПа) давлении. Поэтому остаточные расплавы в зависимости от степени компрессионного затвердевания импактных магм варьировали по составу от толеитов до гранитов. Это впервые объясняет природу ранних кислых магм и является причиной широкого распространения на Земле гранитоидов. Оно объясняет происхождение, кислый состав, огромную мощность (до 30 – 40 км) и раннее образование кристаллической коры древних платформ, повсеместное распространение в ней высокотемпературных минеральных парагенезисов, отсутствие реликтов низкотемпературных минералов и постепенных переходов в неметаморфизованные толщи. Это же является причиной очень широкого распространения на Земле толеитов.

Кристаллизация верхнего кислого слоя магматического океана началась в основном 4,3–4,1 млрд. лет назад, судя по возрасту самых древних на Земле ядер кристаллов обломочных цир-

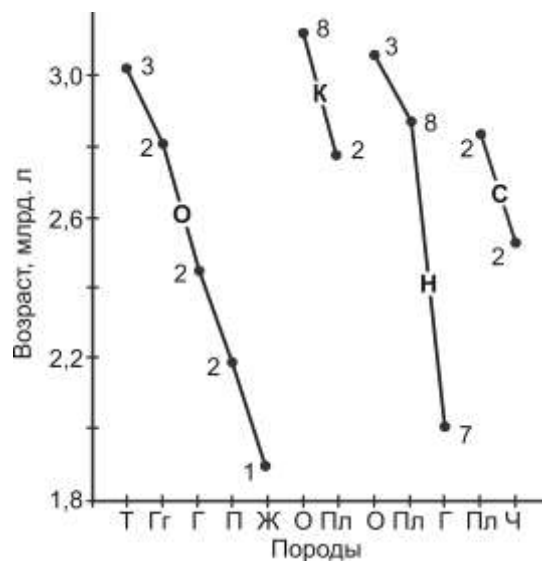


Рис. 5. Средние U-Pb и Rb-Sr возрасты различных пород в кристаллических комплексах Алданского щита: К – Курультинском, Н – Нимнырском, О – Олекминском, С – Сутамском. Породы: Г – граниты, Гг – гранито-гнейсы, Ж – жильный материал мигматитов, О – основные кристаллические сланцы, П – пегматиты, Пл – плагиогнейсы, Т – тоналитовые и трондьемитовые гнейсы, Ч – чарнокиты. Числа у точек – количество использованных определений. Построен по данным [13, 14].

конов. Присутствие в них включений кварца и калиевого полевого шпата подтверждает кислый состав расплава. С учетом образования Земли 4,56 миллиарда лет назад и возраста последних пегматитовых расплавов в среднем 1,6 млрд. лет (см. рис. 1) кислый слой магматического океана остывал и затвердевал около 3 млрд. лет. В течение первых полмиллиарда лет земная поверхность была полностью покрыта расплавом и на ней не было твердых пород. Это объясняет казавшееся загадочным отсутствие на Земле пород древнее 4 млрд. лет и кратеров гигантской метеоритной бомбардировки, завершившейся на Луне около 3,8 млрд. лет назад.

В свете полученных результатов широко распространенные попытки реконструкции стратиграфии и определения возраста процессов формирования гипотетических исходных осадочно-вулканогенных толщ раннедокембрийских кристаллических комплексов и их высокотемпературного метаморфизма лишены смысла, так как эти процессы не существовали. По изотопным данным, видимо, можно сравнивать лишь относительное время кристаллизации однотипных по составу магматических пород в различных комплексах и выделять фазы подъема к земной поверхности глубинного материала постагреционного магматического океана. Каждый комплекс кристаллизовался в течение сотен миллионов – первых миллиардов лет (рис. 5).

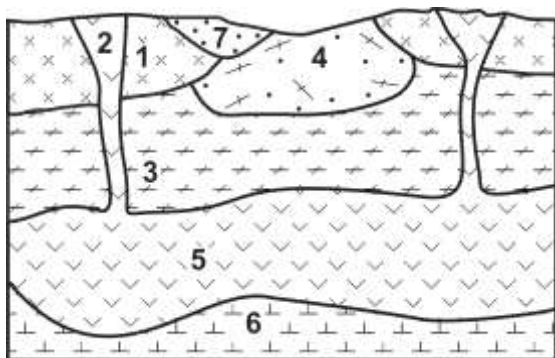


Рис. 6. Главные генетические типы раннедокембрийских комплексов: 1 – гранит-тоналит-тронджемитовые ранней кристаллизации океана магмы; 2 – зеленокаменные; 3 – гранулитогнейсовые инфракрупные; 4 – гранулитогнейсовые супра-инфракрупные; 5 – нижнелитосферные базит-гранулитовые; 6 – мафические мантийные; 7 – вулканогенно-терригенные.

После затвердевания верхних частей кислого слоя вследствие резкого возрастания плотности при кристаллизации (до 10 %) происходило многократное частичное опускание затвердевающих частей вместе с начавшими формироваться на них осадками и всплывание на их место более глубинных частей океана обычно более основного состава. Это объясняет неоднородность раннедокембрийских кристаллических комплексов, их преимущественно ортогнейсовый состав, присутствие в них парапород (рис. 6), чаще всего линзовидную форму большинства тел и признаки интенсивной дислокации в пластичном состоянии.

Бедность ранних конденсатов протопланетного диска водой, калием, рубидием и другими наиболее расплавофильными элементами объясняет пониженное их содержание в кислой кристаллической коре и преобладание в ней гиперстеновых плагиогнейсов. Содержание калия в породах гранулитового Курультинского комплекса Алданского щита в среднем примерно в три раза ниже, чем в породах той же кремнекислотности Олекминского комплекса, сложенного безгиперстеновыми парагенезисами. Гистограмма температуры кристаллизации гнейсов гранулитовой и амфиболитовой фаций не различаются [12]. Это подтверждает обусловленность процессов образования гиперстенсодержащих пород пониженным количеством воды в магмах, а не очень высокой температурой гипотетических процессов метаморфизма. Такой генезис объясняет характерность их и чарнокитов для раннедокембрийских кристаллических комплексов и обычно отсутствие их в более молодых толщах.

Частичное обособление остаточных расплавов в ортогнейсах при кристаллизации приво-

дило к возникновению в них мелких автохтонных тел гранитоидов. В таких остаточноматематических обособлениях темноцветные минералы являются гидроксилсодержащими (биотит, амфибол) вследствие выделения воды при кристаллизации. В анатектических гранитных обособлениях парагенезисов темноцветные минералы, наоборот, в основном являются безводными (гранат, гиперстен, кордиерит) вследствие поглощения воды при плавлении [2, 3].

Кристаллизация верхних частей магматического океана привела к образованию мощной раннедокембрийской кристаллической коры древних платформ. Высокотемпературность ее минеральных парагенезисов обусловлена магматическим происхождением. Это объясняет выдержанность высокотемпературности на всей площади Земли. Вследствие высокой текучести магматического океана кислая кристаллическая кора формировалась сначала на всей поверхности нашей планеты. Но последующие процессы тектонических деформаций привели к сильному сокращению площади ее распространения.

Относительно быстрое затвердевание верхнего кислого слоя объясняет раннее возникновение на кислой коре осадочных пород. Ортогнейсы на земной поверхности подвергались интенсивному химическому изменению под влиянием остывавшей горячей газовой-паровой оболочки, богатой кислотными эманациями магматического океана. В результате оглинивания полевых шпатов и отделения глинистого материала возникали скопления глин и остаточного кварца. Их метаморфизм под влиянием еще горячего основания обусловил формирование высокоглиноземистых гнейсов, кварцитов и обычно совместное их нахождение. По мере снижения температуры в горячих водоемах начиналось осаждение карбонатов. Они образовали мрамора. Это согласуется с в среднем меньшим изотопным возрастом мраморов по сравнению с кварцитами (см. рис. 1).

Вследствие очень высокой температуры газовой-паровой оболочки отделившиеся из магматического океана рудоносные 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 газовой-паровой оболочке привело к образованию крупных стратиформных месторождений железа, меди, свинца, цинка, золота без видимой связи с магматическими породами в основном в протерозое, когда эта оболочка в значительной мере остыла и произошло осаждение

из нее рудных компонентов. Выделение рудных эманаций из гигантского по объему магматического океана объясняет колоссальные запасы руд в некоторых стратиформных месторождениях – до триллионов тонн железа в железистых кварцитах, до сотен тысяч тонн золота в месторождении Витватерсранд.

Вследствие отсутствия в раннем докембрии нижнемантийных плюмов магмы, сформировавшие зеленокаменные пояса, должны были подниматься из постаккреционного магматического океана. Это подтверждается участием в формировании этих поясов всех магм этого океана (ультраосновных, основных, средних и кислых), а также в десятки – сотни раз большим содержанием в коматиитах этих поясов редкоземельных элементов, особенно легких, по сравнению с мантийными гарцбургитами.

С течением времени нижняя мантия должна была постепенно разогреться под влиянием горячего ядра, а верхняя остыть вследствие теплоотдачи в более холодную земную кору. В результате этого произошла инверсия распределения температуры и возник современный геотермический градиент. В конце протерозоя сформировались наиболее древние эвгеосинклинальные зоны складчатых областей. Самая древняя океаническая кора имеет юрский возраст. Поэтому, видимо, в конце протерозоя произошла инверсия распределения температуры в мантии и появились мощные нижнемантийные плюмы. Это привело к образованию океанических областей и современных геодинамических обстановок.

Генезис магм

После возникновения кислой кристаллической коры происходило внедрение в нее остаточных расплавов из различных по составу слоев магматического океана. Сначала внедрялись расплавы из нижних частей кислого слоя, что объясняет массовое образование гранитоидов в раннем докембрии. Выжимание еще незатвердевших плагиоклазовых кумулатов среднего и основного слоев магматического океана обусловило образование автономных анортозитов 2,8–1,0 миллиарда лет назад. Участие в процессах их формирования среднего по составу слоя магматического океана объясняет иногда присутствие в них андезина и олигоклаза и частую ассоциацию их с рапакиви. Из остаточных расплавов пикритового слоя сформировались карбонатитовые остаточные расплавы, а из перидотитового – кимберлитовые. Возраст карбонатитов равен в среднем 688, а кимберлитов – 236 миллионов лет [5], что подтверждает затвердевание магматического океана сверху вниз.

Придонное компрессионное фракционирование синаккреционного магматического океана происходило в процессе интенсивного падения на Землю материала протопланетного диска. Падение наиболее крупных планетезималей должно было сопровождаться возникновением импактных кратеров в кумулатах на дне магматического океана. Заполнявший их преимущественно основной расплав должен был быстро затвердевать под влиянием увеличения давления в результате его опускания ниже уровня дна океана. Он формировал тела эклогитов чаще всего толеитового состава. В них могли присутствовать также участки диоритового и плагиогранитного состава, возникшие из более кислых остаточных расплавов магматического океана. Поэтому мантия должна состоять преимущественно из гарцбургитовых кумулатов с заключенными в них телами эклогитов. Объем этих тел мог быть очень большим (до многих миллионов км³), так как на Луне диаметр импактных кратеров иногда превышает тысячу километров.

Присутствие таких больших тел эклогитов в мантии должно было во многом определять характер конвекции в ней. Наиболее крупные тела, вследствие пониженной плотности, должны были постепенно всплывать и формировать плюмы относительно небольшого сечения. Более мелкие тела всплывали в составе подогретых ядром гарцбургитовых кумулатов в процессе мантийной конвекции. Огромная декомпрессия при подъеме должна была приводить к плавлению эклогитов и к относительно быстрому образованию огромных объемов магм преимущественно толеитового состава. Это объясняет быстрое формирование (в течение первых миллионов лет) гигантских объемов траппов и их преимущественно толеитовый состав. Нехарактерность для толеитов ультраосновных мантийных ксенолитов подтверждает образование их магм путем переплавления эклогитов.

С длительным постепенным подъемом плюмов основного состава связан магматизм «горячих точек». Магмы их, вопреки названию «точек», не являются очень горячими, так как содержат вкрапленники породообразующих минералов.

Малобарическое фракционирование толеитовых магматических очагов под тонкой литосферой должно было приводить к образованию малощелочных базальт-андезит-риолитовых серий и их плутонических аналогов, характерных для зон субдукции и складчатых областей. Магматические серии, содержащие плагиограниты и плагиориолиты, возникали из бедных литофильными компонентами высокотемператур-

ных конденсатов. Высокобарическое фракционирование под толстой литосферой привело к образованию магматических серий повышенной и высокой щелочности. В коллизионных областях декомпрессионное и фрикционное плавление выжимавшихся наиболее кислых частей кристаллической коры обусловило формирование огромных гранитных батолитов. Такое происхождение объясняет распространение их только в областях, в которых присутствует древняя кристаллическая кора, идентичность их состава с раннедокембрийскими гранитоидами, присутствие включений высокотемпературных кристаллических пород и обычно высокое начальное отношение в них изотопов стронция [15].

Заключение

Таким образом, новейшие геологические и планетологические данные однозначно свидетельствуют о горячей гетерогенной аккреции Земли. Ядро возникло раньше силикатной мантии. Она и кристаллическая земная кора образовались в результате фракционирования глобального океана магмы. Магматизм древних платформ обусловлен последовательным всплыванием остаточных расплавов из различных по составу слоев постаккреционного магматического океана. Нижнемантийные плюмы и современные геодинамические обстановки появились в основном в фанерозое. Магматизм океанических и складчатых областей обусловлен декомпрессионным плавлением эклогитов в плюмах и фракционированием возникавших магм.

В отличие от традиционных взглядов разработанная система генетических представлений во всех деталях подтверждается эмпирическими данными и не имеет с ними никаких противоречий. Поэтому, несмотря на ее непривычность, лишь учет ее может привести к убедительному решению генетических вопросов петрологии и к разработке единой непротиворечивой детальной модели глубинных геологических процессов.

Литература

1. Грин Д.Х. Состав базальтовых магм как критерий их возникновения при вулканизме / Ред. Э. Буллард, Дж. Канн, Д. Метьюз // Петрология изверженных и метаморфических пород дна океана. М.: Мир, 1973. С. 242–261.
2. Шкодзинский В.С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М.: Наука, 1985. 232 с.
3. Шкодзинский В.С. Проблемы физико-химической петрологии и генезиса мигматитов (на примере Алданского щита). Новосибирск: Наука, 1976. 224 с.

4. Arndt N.T. The separation of magmas from partially molten peridotite // Carnegie Inst. Wash. Yearb. 1977. V. 76. P. 424–428.

5. Шкодзинский В.С. Петрология литосферы и кимберлитов (модель горячей гетерогенной аккреции Земли). Якутск: Изд. СВФУ, 2014. 452 с.

6. Рингвуд А.Е. Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982. 294 с.

7. O'Neil H.S. Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth // Meteoritics. 1990. V. 25 (4). P. 395.

8. Harris P.G., Tozer D.C. Fractionation of iron in the Solar system // Nature. 1967. V. 215. P. 1449–1451.

9. Войткевич Г.В. Происхождение и химическая эволюция Земли. М.: Недра, 1983. 168 с.

10. Yin Q., Jacobsen S., Yamashita K., Blicher-Toft J., Telouk O.P., Albarede F.A. A short time-scale for terrestrial planet formation from Hf-W chronometry of meteorites // Nature. 2002. V. 418. P. 949–952.

11. Snyder G.A., Borg L.E., Nyquist L.E., Taylor L.A. Chronology and isotopic constrains on Lunar evolution // The origin of the Earth and Moon. Univ. of Ariz. Press. 2000. P. 361–395.

12. Шкодзинский В.С. Генезис магм по современным данным о горячей аккреции Земли // Наука и образование. 2017. № 2 (86). С. 5–10.

13. Березкин В.И., Смелов А.П., Зедгенизов А.Н., Кравченко А.А., Попов Н.В., Тимофеев В.Ф., Торопова Л.И. Геологическое строение центральной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия). Новосибирск: Изд. СО РАН. 2015. 459 с.

14. Смелов А.П., Кравченко А.А., Березкин В.И., Добрецов В.Н. Геология и геохимия докембрийских базит-ультрабазитовых комплексов центральной части Алданского щита и нижнекорковых ксенолитов // Отечественная геология. № 5. 2007. С. 53–61.

15. Шкодзинский В.С., Недосекин Ю.Д., Сурнин А.А. Петрология позднемезозойских магматических пород Восточной Якутии. Новосибирск: Наука, 1992. 237 с.

References

1. Grin D.H. Sostav bazal'tovyh magm kak kriterij ih vzniknoveniya pri vulkanizme / Red. E. Bullard, Dzh. Kann, D. Met'yuz // Petrologiya izverzhennyh i metamorficheskikh porod dna okeana. Moscow: Mir, 1973, pp. 242–261.
2. Shkodzinskij V.S. Fazovaya evolyuciya magm i petrogenezis. Moscow: Nauka, 1985, p. 232.
3. Shkodzinskij V.S. Problemy fiziko-himicheskoy petrologii i genezisa migmatitov (na primere Aldanskogo schita). Novosibirsk: Nauka, 1976, p. 224.

4. *Arndt N.T.* The separation of magmas from partially molten peridotite // *Carnegie Inst. Wash. Yearb*, 1977, vol. 76, p. 424–428.
5. *Shkodzinskij V.S.* Petrologiya litosfery i kimberlitov (model' goryachej geterogennoj akkrecii Zemli). Yakutsk: Izd. SVFU, 2014, p. 452.
6. *Ringvud A.E.* Proiskhozhdenie Zemli i Luny. Moscow: Nedra, 1982, p. 294.
7. *O'Neil H.S.* Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth // *Meteoritics*, 1990, vol. 25 (4), p. 395.
8. *Harris P.G., Tozer D.C.* Fractionation of iron in the Solar system // *Nature*, 1967, vol. 215, pp. 1449–1451.
9. *Vojtkevich G.V.* Proiskhozhdenie i himicheskaya evolyuciya Zemli. Moscow: Nedra, 1983, p. 168.
10. *Yin Q., Jacobsen S., Yamashita K., Blicher-Toft J., Telouk O.P., Albarede F.A.* A short time-scale for terrestrial planet formation from Hf-W chronometry of meteorites // *Nature*, 2002, vol. 418, pp. 949–952.
11. *Snyder G.A., Borg L.E., Nyquist L.E., Taylor L.A.* Chronology and isotopic constrains on Lunar evolution // *The origin of the Earth and Moon. Univ. of Ariz. Press*, 2000, pp. 361–395.
12. *Shkodzinskij V.S.* Genezis magm po sovremennym dannym o goryachej akkrecii Zemli // *Nauka i obrazovanie*, 2017, № 2 (86), pp. 5–10.
13. *Berezkin V.I., Smelov A.P., Zedgenizov A.N., Kravchenko A.A., Popov N.V., Timofeev V.F., Toropova L.I.* Geologicheskoe stroenie central'noj chasti Aldano-Stanovogo schita i himicheskie sostavy porod rannego dokembriya (Yuzhnaya Yakutiya). Novosibirsk: Izd. SO RAN, 2015, p. 459.
14. *Smelov A.P., Kravchenko A.A., Berezkin V.I., Dobrecov V.N.* Geologiya i geohimiya dokembrijskih bazit-ul'trabazitovyh kompleksov central'noj chasti Aldanskogo schita i nizhnekorovyh ksenolitov // *Otechestvennaya geologiya*, № 5, 2007, pp. 53–61.
15. *Shkodzinskij V.S., Nedosekin YU.D., Surnin A.A.* Petrologiya pozdnevezozojkskih magmaticheskikh porod Vostochnoj Yakutii. Novosibirsk: Nauka, 1992, p. 237.

Поступила в редакцию 19.01.2018