

Природа раннедокембрийских кристаллических комплексов и их оруденения по данным о горячей гетерогенной аккреции Земли

В.С. Шкодзинский

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

Аннотация. Новейшие данные о горячей гетерогенной аккреции Земли объясняют природу ранее непонятных особенностей раннедокембрийских кристаллических комплексов и их оруденения. Преимущественно кислый состав пород и выдержанная высокотемпературность их минеральных парагенезисов обусловлены образованием из малобарических остаточных расплавов синаккреционного слоистого магматического океана. Их неоднородный состав и присутствие парапород связаны с процессами погружения закристаллизованных приповерхностных пород вместе с накопившимися на них осадками и всплыванием полужидких мафических нижних частей магматического океана. Процессами всплывания глубинных частей обусловлено присутствие высокобарических минеральных парагенезисов. Подъем возникших при аккреции расплавов толеитового слоя является причиной близости модельного самарий-неодимового возраста основных кристаллических сланцев к возрасту Земли. Образование из эманаций и остаточных расплавов магматического океана объясняет присутствие на древних платформах уникально крупных месторождений железистых кварцитов, золота, платины, хрома, редкоземельных карбонатитов и алмазоносных кимберлитов.

Ключевые слова: ранний докембрий, магматический океан, металлогения древних платформ.

Благодарности. Статья подготовлена по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2019-0003.

<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-1-43-51>

Genesis of early Precambrian complexes and of theirs metallogeny according to data of hot heterogeneous accretion of the Earth

V.S. Shkodzinskiy

*Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, Yakutsk, Russia
shkodzinskiy.diamond.ysn.ru*

Abstract. It was shown that modern evidence of global magma ocean fractionation during Earth accretion allow to explain discussion problems of Early Precambrian. Due to a relatively low pressure during fractionation early magma ocean its mainly residual melts have acid composition. This provided acid composition mainly Early Precambrian rocks. Origin from melts explain high temperature crystallization these rocks. Dipping of cold rocks and sediments caused origin of heterogeneous complexes. Raising of deep migmas caused presence of high-baric rocks and very ancient age of basic crystalline schists. Emanation and magmatic differentiation of magma ocean caused origin of unique deposits.

Key words: Early Precambrian, magma ocean, metallogeny of platforms.

Acknowledgements. This article was prepared according to the plan of the research and development work of IGABM SB RAS, project No. 0381-2019-0003.

Введение

Раннедокембрийские кристаллические комплексы слагают большую часть земной коры древних платформ и содержат уникальные рудные месторождения. Выяснение их генезиса имеет основополагающее значение для решения многих фундаментальных проблем геологии. В соответствии с господствующей гипотезой холодной гомогенной аккреции Земли обычно принимается, что ранний этап ее геологической эволюции кардинально не отличался от современного. Поэтому предполагается, что раннедокембрийские кристаллические комплексы являются глубоко метаморфизованными осадочно-вулканогенными толщами и главное внимание уделяется выяснению времени накопления, метаморфизма, происхождения вещества этих толщ и разработке их стратиграфии. Однако до сих пор не удалось получить убедительное решение этих вопросов.

Наиболее непонятна природа преимущественно кислого состава кристаллических комплексов и земной коры. По экспериментальным данным [1, 2] при ультраосновном составе исходного вещества Земли образование в нем кислых расплавов возможно при плавлении его на 2–3 % в случае давления менее 0,3 ГПа. Однако при холодной аккреции на соответствующей этому давлению глубине менее 12 км никогда не могла существовать необходимая для начала плавления температура около 1000°C. Кроме того, при такой небольшой степени плавления вязкость подплавленных пород в миллионы раз выше вязкости магм [3]. Поэтому в них не смогло бы происходить отделение выплавов, что подтверждается экспериментами по частичному плавлению перидотитов [4] и результатами изучения анатектических мигматитов [3]. Предположению о формировании кислых выплавов в мантийных эклогитах [2] противоречат отсутствие гранитных обособлений в многочисленных ксенолитах этих пород в кимберлитах [5–7], значительно меньший их изотопный возраст (в среднем 1,4 млрд лет) по сравнению с кристаллической корой и признаки остывания верхней мантии на 200°C за каждый миллиард лет [3]. Не понятны природа глобального распространения выдержанной магматической температуры (600–900°C) образования древнейших комплексов, отсутствия в них реликтов исходных низкотемпературных минералов, судьба мощных (десятки километров) перекрывающих толщ, теплоизолирующим влиянием которых должен был быть обусловлен гипотетический высокотемпературный метаморфизм, причины невозможности разработать убедительную схему стратиграфического расчленения кристаллических комплексов [8] и многих других явлений.

Причина этих трудностей стала понятной по-

сле появления доказательств горячей гетерогенной аккреции Земли и ошибочности господствующей в геологии гипотезы ее холодной гомогенной аккреции, т.е. образования путем объединения холодных железных и силикатных частиц, количественное соотношение которых не изменялось во времени. Эта гипотеза была разработана О.Ю. Шмидтом [9] на основании предположения о возникновении протопланетного диска из холодного газово-пылевого облака, захваченного гравитационным полем Солнца. Однако в настоящее время установлено, что такое предположение ошибочно, Солнце и планеты возникли из одного и того же облака с температурой до 1800 К [10–12]. Поэтому не случайно гипотеза холодной гомогенной аккреции не позволяет убедительно решать генетические проблемы. Десятки разнообразных доказательств горячей гетерогенной аккреции подробно рассмотрены в ранней публикации автора [3]. При такой аккреции все загадочные особенности раннедокембрийских кристаллических комплексов получают убедительное объяснение.

Генезис раннедокембрийских комплексов

Резкая химическая неравновесность мантийных пород с металлическим железом [10] свидетельствует, что силикатные и железные частицы никогда не были перемешаны в земных недрах и, следовательно, ядро сформировалось раньше мантии в результате быстрого объединения частиц железа в протопланетном диске под влиянием мощных магнитных сил [13], т.е. аккреция была гетерогенной. Быстрая аккреция ядра привела к его изначально очень высокой температуре и к последующему подогреву им мантии. Выпадавшие на ядро силикатные частицы плавилась в результате главным образом импактного тепловыделения, что привело к образованию магматического океана [3]. Придонные его части при аккреции частично кристаллизовались под влиянием роста давления образующихся верхних частей и сформировали из кумулатов породы нижней мантии, а из всплывавших остаточных расплавов – различные по составу 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 риолитов. Только существование этих ранних массовых малобарических процессов синаккреционного фракционирования позволяет объяснить очень широкое распространение на Земле гранитов и толеитов.

Расположение разных расплавов по плотности привело к возникновению слоистости в магматическом океане. Вследствие возрастания плот-

ности от верхнего кислого слоя к мафическому нижнему (от 2,3 до 2,8 г/см³) в океане не возникла единая конвекция расплавов от дна до поверхности, поэтому после прекращения аккреции он длительно затвердевал сверху вниз преимущественно в результате кондуктивных теплопотерь. Это объясняет отсутствие на Земле пород древнее 4 млрд лет и кратеров завершавшей аккрецию гигантской метеоритной бомбардировки.

Основные и ультраосновные расплавы могут иметь меньшую плотность, чем закристаллизованные соответственно кислые и средние по составу магмы вследствие значительного роста их плотности при затвердевании (рис. 1). Следовательно, эти расплавы могли всплывать в породах среднего состава. Поэтому по мере кристаллизации сверху вниз расслоенного магматического океана затвердевшие его верхние части периодически тонули вместе с начавшими формироваться на них осадками и на их место всплывали нижние более жидкие. Это объясняет неоднородный состав кристаллических комплексов, обычно линзовидную и амёбовидную форму тел слагающих их ортогнейсов и присутствие среди них парапород.

Обобщение большого количества опубликованных данных показало [3], что гистограммы распределения температур кристаллизации гиперстеносодержащих и безгиперстеновых гнейсов совершенно идентичны. Из этого следует, что образование гнейсов, относимых к гранулитовой и амфиболитовой фациям, связано не с разными температурами их метаморфизма, как обычно предполагается, а с более низким содержанием воды в гиперстеновых магмах. Это подтверждается обычно отсутствием случаев развития гиперстеновых гнейсов по безгиперстеновым [14–16], а также чаще всего в 3–4 раза меньшим содержанием калия и других литофильных компонентов в гиперстеновых гнейсах. Последнее обусловлено

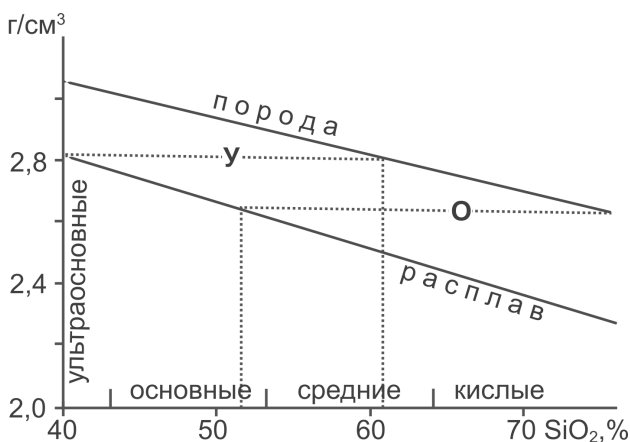


Рис.1. Плотности ультраосновных (Y) и основных (O) пород и расплавов [2]

Fig.1. Density of ultrabasic (Y) and basic (B) rocks and melts [2]

формированием вещества таких гнейсов из бедных литофильными компонентами высокотемпературных конденсатов протопланетного диска.

В еще не остывшем раннем магматическом океане под верхним слоем гранитных магм должны были располагаться эндебитовые расплавы (рис. 2-I) вследствие их повышенной плотности. При падении крупных тел наиболее далеко от возникшего кратера должны были отбрасываться малоглубинные части мишени. Поэтому падение крупных тел, происходившее на всех внутренних планетах Солнечной системы 4,5–3,8 млрд лет назад при гигантской метеоритной бомбардировке, приводило к наиболее далекому выбросу в магматическом океане расплавов верхнего гранитного слоя. В результате на земной поверхности формировались участки преимущественного

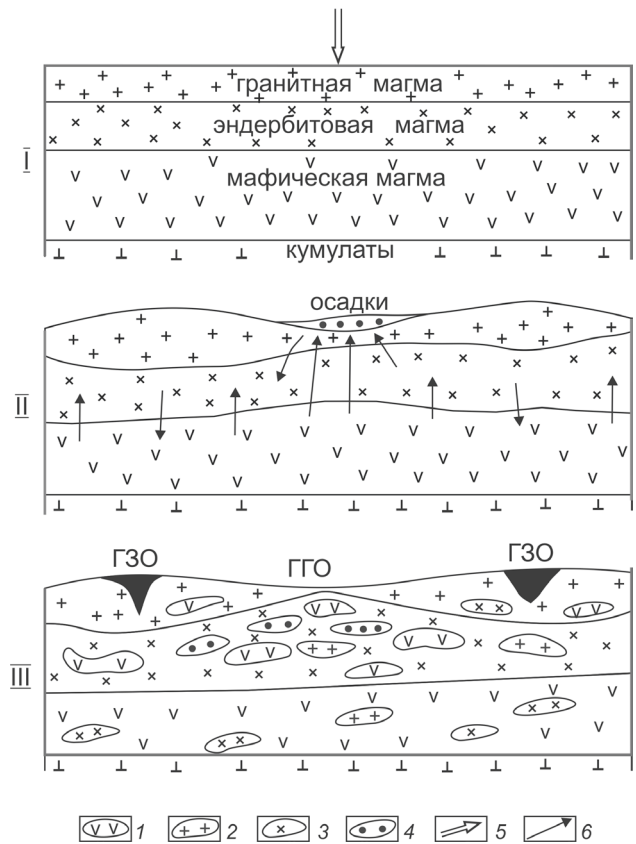


Рис.2. Образование гранулитогнейсовых (ГГО) и гранит-зеленокаменных областей (ГЗО) в результате кристаллизации расслоенного магматического океана (I) и перераспределения его вещества при импактных процессах и затвердевании (II). 1–4 – тела основных (1), гранитных (2), эндебитовых (3) и метаосадочных (4) пород (III); 5 – падение мегаимпакта; 6 – направления перемещения вещества

Fig.2. Origin of granite-gneiss (ГГО) and granite-greenstone (ГЗО) areas as a result of magma ocean crystallization (I) and of substance redistribution during impact processes and crystallization (II). 1–4 – bodies of basic (1), granite (2), enderbite (3) and metasedimentary (4) rocks (III); 5 – megaimpact falls; 6 – directions of moving substance

распространения эндербитовых магм, окруженные скоплениями гранитоидных расплавов (рис. 2-П). Их затвердевание объясняет существование соответственно гранулитогнейсовых и гранитоидных областей (рис. 2-П).

Вследствие повышенной плотности эндербитовых расплавов всплытие нижерасположенных более мафических магм при затвердевании магматического океана начиналось в областях скопления таких расплавов. Оно интенсивно происходило и позже, так как породы этих областей в среднем становились все более плотными. В преимущественно серогнейсовых областях земной коры всплытие глубинных расплавов сначала почти не происходило (рис. 2) вследствие пониженной плотности гранитоидных расплавов. Это объясняет обычно значительно большую неоднородность гранулитогнейсовых комплексов по сравнению с серогнейсовыми. С увеличением мощности закристаллизованной верхней части расслоенного магматического океана становилось возможным всплытие в нее все более мафических и глубинных расплавов, так как повышалась средняя плотность этой затвердевавшей части.

Исходное вещество раннедокембрийских кристаллических комплексов образовалось в результате двух главных процессов глобального магматического фракционирования – в синаккреционном и постаккреционном магматическом океане. Уран-свинцовые и рубидий-стронциевые изотопные возрасты отражают в основном время образования минеральных парагенезисов кристаллических пород. Самарий-неодимовые модельные возрасты показывают время последнего магматического фракционирования, когда происходили наиболее мощные процессы разделения близких по свойствам самария и неодима. Это объясняет чаще всего более древний в среднем возраст самарий-неодимовых модельных возрастов по сравнению с другими (рис. 3).

В результате затвердевания слоистого постаккреционного магматического океана сверху вниз в период образования раннедокембрийских кристаллических комплексов нижний мафический его слой еще незначительно подвергся процессам кристаллизации и фракционирования. Поэтому самарий-неодимовый модельный возраст сформированных из магм этого слоя основных кристаллических сланцев отражает чаще всего время раннего синаккреционного фракционирования. Это объясняет близость этого возраста (в среднем 4,30 млрд лет на рис. 3) к возрасту Земли (4,56 – 4,4 млрд лет).

Вследствие образования раннедокембрийских кристаллических комплексов путем глобального магматического фракционирования на древних платформах существуют преимущественно маг-

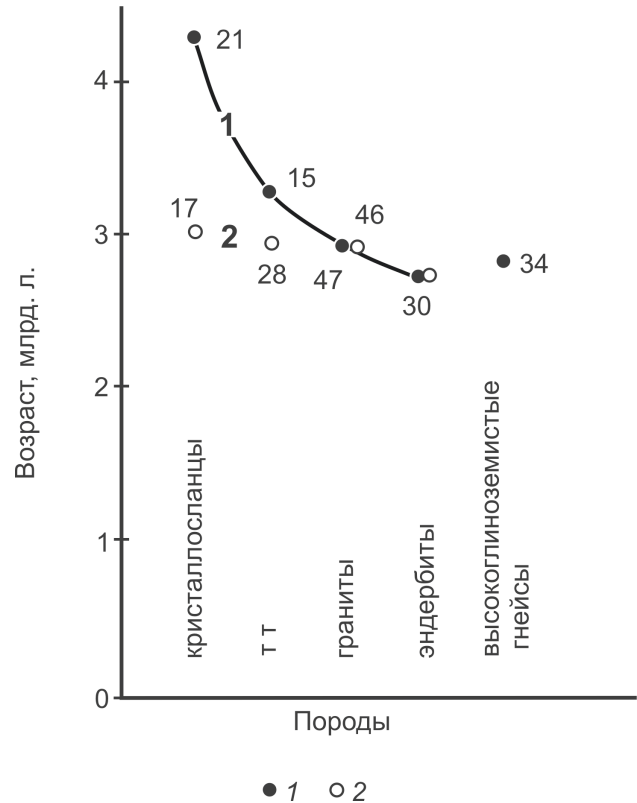


Рис.3. Средние самарий-неодимовые (1), уран-свинцовые и рубидий-стронциевые возрасты (2) кристаллических пород Алданского щита [8, 15]. Числа – количество использованных определений, ТТ – тоналит-тронджемиты

Fig.3. Average Sm-Nd (1), U-Pb and Rb-Sr (2) ages of Aldan shield crystalline rocks [8, 15]. Numbers – amount of determinations, ТТ – tonalite-trondhjemitites

матическое кристаллическое основание и расположенные на нем метаморфические комплексы. Метаморфизм последних обусловлен влиянием горячего основания и всегда является низкотемпературным и зональным. К таким комплексам принадлежат зеленокаменные пояса, широко распространенные на всех древних платформах.

На рис. 4 показаны результаты обобщения опубликованных данных по средним Р-Т параметрам кристаллизации комплексов основания главных докембрийских щитов Европы и Азии и приведены диаграммы фазового состава кислых и толеитовых магм, рассчитанные по опубликованным экспериментальным данным [17]. Из рисунка видно, что оцененные по составу минералов средние температуры кристаллизации комплексов фундамента попадают преимущественно в интервал 800–850°C и соответствуют содержанию расплава в кислых магмах в среднем 15–20%. Это согласуется с чаще всего примерно таким же средним содержанием гранитного материала в мигматизированных ортогнейсах. Расплав этого материала является остаточно-магматическим.

Рисунок показывает идентичность температур кристаллизации ортогнейсов основания платформ с магматическими и близость их во всех раннедокембрийских кристаллических комплексах. Это нашло отражение в представлениях о монофациальности древнейшего метаморфизма. Вследствие магматического происхождения нет необходимости предполагать труднообъяснимое существование мощных перекрывающих толщ, теплоизолирующим влиянием которых должен бы быть обусловлен метаморфизм, и пытаться определять время накопления исходных толщ и время их метаморфизма. Этих процессов не было.

Удивительной особенностью зеленокаменных поясов является обычно их присутствие только в областях широкого развития древних гранитоидов.

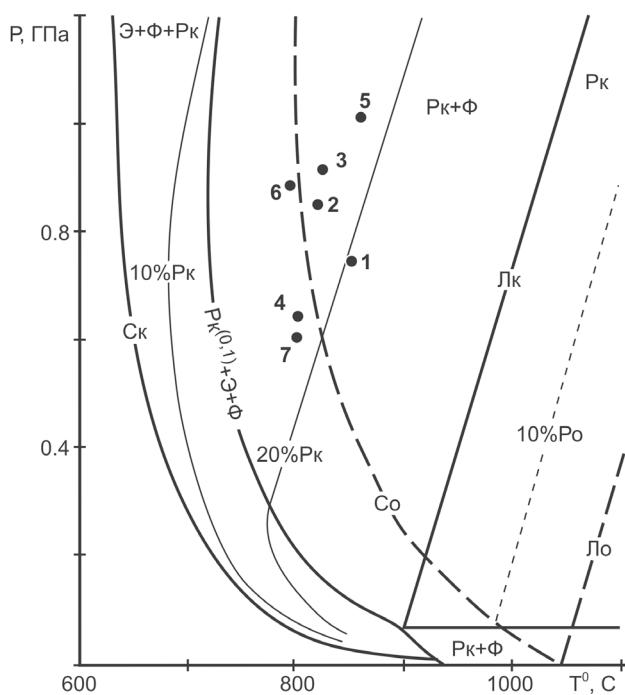


Рис. 4. Средние параметры образования кристаллических комплексов Алданского щита (1, среднее из 36 определений), Анабарского щита (2, 12 определений), Лапландского пояса (3, 11 определений), Украинского щита (4, 4 определения), Антарктиды (5, 1 определение), Урала (6, 10 определений), Беломорья (7, 12 определений) по данным [8, 14–16, 18]. Лк и Ло, Ск и Со – соответственно ликвидусы и солидусы кислых и основных магм, Ф – флюид, Э – минералы гранитов, 10% Рк, 20% Рк и 10% Ро – содержания соответственно кислого и основного расплава, Рк^(0,1) – кислый расплав с отношением количества CO₂ к H₂O, равным 0,1 [17]

Fig. 4. Average parameters of crystalline complexes origin of Aldan shield (1, average from 36 determinations), of Anabar shield (2, 12 determinations), of Ukrain shield (4, 4 determinations), of Antarctic (5, 1 determination), of Ural (6, 10 determinations), of Belomorje (7, 12 determinations) [8, 14–16, 18]. Лк and Ло, Ск and Со – liquidus and solidus of acid and basic melt accordingly, Ф – fluid, Э – granite minerals, 10% Рк, 20% Рк, 10% Ро – contents of acid and basic melts accordingly, Рк^(0,1) – acid melt with ratio CO₂ to H₂O 0,1 [17]

дов. Поэтому такие области называют гранит-зеленокаменными. В гранулитогнейсовых областях зеленокаменные пояса обычно отсутствуют или находятся только на их окраинах [14]. При образовании раннедокембрийских кристаллических комплексов в результате затвердевания магматического океана эта особенность размещения зеленокаменных поясов должна быть обусловлена пониженной в среднем плотностью пород этих областей вследствие широкого развития здесь гранитоидов. По этой причине земная поверхность здесь возвышалась и на ней не накапливались ранние осадочные породы (см. рис. 2). Расплавы нижних мафических слоев магматического океана всплывали в основном после значительного затвердевания верхней части коры, когда она приобрела повышенную плотность. Магмы изливались главным образом на земную поверхность, продавливали ее, размещались в узких синклиналих и формировали зеленокаменные пояса.

Определяемые по минеральным равновесиям величины давления при кристаллизации раннедокембрийских кристаллических комплексов иногда превосходят 1 ГПа (рис. 5), т.е. минеральные парагенезисы этих пород сформировались на глубине порядка 35 – 40 км. При осадочно-вулканогенном происхождении исходных пород возникает неразрешимая проблема судьбы перекрывающих мощных толщ, весом которых обусловлено такое высокое давление. При образовании кристаллических комплексов в результате затвердевания глобального океана магма такая проблема не возникает, поскольку в нем происходило многократное всплывание его глубинных частей.

Они выносили высокобарические минеральные парагенезисы на малоглубинный уровень. Вариации давления при образовании различных комплексов основания Алданского щита в среднем составляли около 0,3 ГПа (рис. 5). О связи таких больших вариаций давления с процессами всплывания глубинных частей магматического океана свидетельствуют намного меньшие их вариации в зеленокаменных комплексах, составляющие всего 0,06 ГПа. Эти комплексы формировались на уже затвердевшей поверхности магматического океана, поэтому в них не происходили процессы всплывания мигм.

Эволюция мантийной конвекции

В случае горячего образования Земли величина импактного тепловыделения при аккреции значительно возрастала с увеличением размера падавших тел вследствие сокращения удельных теплопотерь на излучение. Поэтому неизбежное укрупнение с течением времени тел в протопланетном диске приводило к резкому возрастанию величины импактного разогрева к концу аккреции.

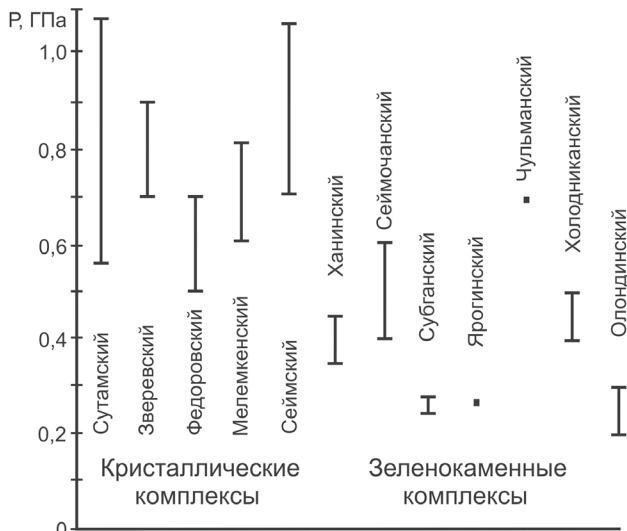


Рис.5. Интервалы давления при образовании кристаллических и зеленокаменных комплексов Алданского щита [8, 15]

Fig. 5. Values of origin complexes pressure of Aldan shield [8, 15]

Величина возрастания температуры различными исследователями оценивается в 800–3400°C [3]. Из этого следует важный вывод о том, что геотермический градиент в мантии на ранней стадии эволюции Земли был обратным по отношению к современному (температура падала с глубиной). Поэтому тогда не существовали нижнемантийные плюмы и современные геодинамические обстановки, но происходили процессы локального всплывания и опускания вещества постагреционного магматического океана. Они, видимо, приводили к относительно небольшим по масштабам тектоническим перемещениям пластичной коры и к существованию тектоники малых пластичных плит.

Постепенный прогрев мантии на 1000–2000°C более высокотемпературным ядром привел к возникновению в ней прямого геотермического градиента и нижнемантийной конвекции. Существуют два типа этой конвекции. Всплывание огромных объемов подогретого нижнемантийного вещества приводило к сильному механическому воздействию его на литосферу, поскольку оно вследствие преимущественно ультраосновного состава относительно мало подплавлялось под влиянием декомпрессии и поэтому имело огромную вязкость. Под его влиянием происходят мощные процессы деформации литосферы и возникают современные процессы плитной тектоники. Они типичны только для фанерозоя. На это указывают доюрский возраст дна современных океанов, резкое увеличение интенсивности тектонических и осадочных процессов и образования высокомагнезиальных пикритов 0,7 – 0,6 млрд лет назад [14, 19].

Заполнение импактных углублений на дне магматического океана при аккреции преимущественно толеитовыми магмами и их быстрое компрессионное затвердевание приводили к возникновению крупных (миллионы км³) тел основных пород в мантии. Эти породы были примерно на 0,1 г/см³ менее плотными, чем мантия. Их всплывание и декомпрессионное плавление при подъеме обуславливали быстрое образование больших объемов траппов, крупных магматических провинций и магматизма «горячих точек». Эти плюмо-тектонические процессы начались раньше плитно-тектонических, так как плавучесть основных плюмов была намного выше ультраосновных.

Природа металлогении древних платформ

Процессы фракционирования и дегазации огромного глобального магматического океана объясняют образование большого количества уникальных крупных месторождений древних платформ. Выделяются четыре их генетических разновидности (рис. 6). Наиболее ранние осадочно-гидротермальные возникли в результате размещения рудоносных эманаций в ранних осадочных бассейнах среди накапливавшихся осадочных и вулканогенных пород.

Еще большая пластичность кристаллического фундамента обусловила отсутствие в нем секущих жил этого оруденения. К ним относятся месторождения железистых кварцитов и ураново-золоторудное месторождение Витватерсранд, к более поздним гидротермальным – многочисленные золоторудные, полиметаллические и другие месторождения, представленные рудными жилами и зонами дробления в зеленокаменных комплексах. С отделением эманаций глубинных мафических слоев магматического океана связано образование уникально богатых месторождений урана типа несогласия.

Процессы всплывания и кристаллизации мафических магм нижних слоев магматического океана приводили к образованию гигантских магматических месторождений хрома, платины, меди и никеля типа Бушвельдского. Накопление расплавофильных элементов в остаточных расплавах при длительном фракционировании глубинных слоев магматического океана обусловило формирование остаточно-магматических редкометалльных и редкоземельных карбонатитовых месторождений типа Томтор на Сибирской платформе. Увеличение концентрации углерода в остаточных расплавах при кристаллизации придонного перидотитового слоя привело к образованию алмазов в кимберлитовых остаточных рас-

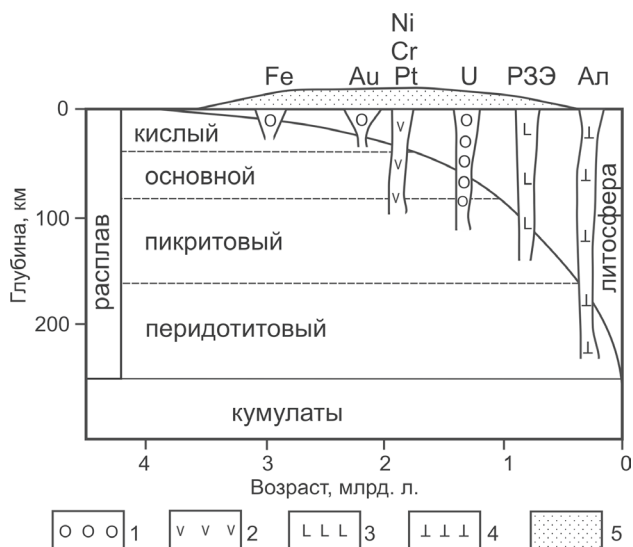


Рис. 6. Схема кристаллизации слоистого океана магмы и образования различных эндогенных месторождений: 1–4 – подъем рудоносных гидротерм (1), мафических магм (2), редкоземельных карбонатитовых остаточных расплавов (3), алмазоносных (Ал) кимберлитовых магм (4); 5 – минерализованные растворы, исходные для осадочно-гидротермальных месторождений

Fig. 6. Model of magma ocean crystallization and endogenic deposits origin: 1–4 – ascent of ore-bearing hydrothermas (1), mafic magmas (2), rare-earth carbonatite residual melts (3), adamantite kimberlite magmas (4); 5 – gydrothermas of sedimentary-gydrothermal deposits

плавах и объясняют происхождение алмазоносных кимберлитов.

Выводы

Таким образом, вследствие ошибочности принятой в петрологии гипотезы холодной гомогенной аккреции Земли главные генетические проблемы раннего докембрия в течение многих десятилетий не имели убедительного решения. Полученные в последнее время доказательства ее горячего гетерогенного образования решают эти проблемы. Необходимо дальнейшее осмысливание особенностей раннедокембрийских кристаллических комплексов различных континентов с целью реконструкции во всех деталях ранней истории нашей планеты.

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. Грин Д.Х., Рингвуд А.Е. Происхождение магматических пород известково-щелочного ряда // Петрология верхней мантии. М.: Мир, 1968. С. 118–131.
3. Шкодзинский В.С. Глобальная петрология

по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли. Якутск: Изд-во СВФУ, 2018. 244 с.

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

5. Sablukova L.I., Sablukov S.M., Stegnitsky Yu.B., Banzeruk V.I. Mantle xenoliths of the Nyurbinskaya pipe (Yakutia) relict of weakly metasomatized lithospheric mantle // 9th International Kimberlite Conference. Extended Abstract. N 91KC-A-00163. 2008.

6. Sinchenko V.N., Nikitina L., Korolev N., Felix T. Eclogites from the upper mantle beneath the Kassai Craton (Western Africa): Petrography, whole-rock geochemistry and U-Pb zircon age // Precambrian Research. 2014. V. 249. P. 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.04.014>.

7. Зинченко В.Н. Кимберлиты северо-востока Анголы. Геологическое строение, алмазоносность, алмазы. Саарбрюкен (Германия). Palmarium Academic Publishing, 2014. 240 с.

8. Березкин В.И., Смелов А.П., Зедгенизов А.Н. и др. Геологическое строение центральной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2015. 459 с.

9. Шмидт О.Ю. Происхождение Земли и планет. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 132 с.

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

11. Додд Р.Т. Метеориты – петрология и геохимия. М.: Мир, 1986. 382 с.

12. Рузмайкина Т.В. Протопланетный диск: от идеи захвата к теории происхождения // Физика Земли. 1991. № 8. С. 5–14.

13. Harris P.G., Tozer D.C. Fractionation of iron in the Solar system // Nature. 1967. V. 215. P. 1449–1451. <https://doi.org/10.1038/216781a0>.

14. Салон Л.Н. Геологическое развитие Земли в докембрии. Л.: Недра, 1982. 334 с.

15. Смелов А.П., Березкин В.И., Тимофеев В.Ф. и др. Геологическое строение западной части Алдано-Станового щита и химические составы пород раннего докембрия (Южная Якутия). Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2009. 168 с.

16. Минц М.В., Каулина Т.В., Конилов А.Н. Термальная и геодинамическая эволюция Лапландского гранулитового пояса // Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя: Материалы II Российской конференции. СПб., 2007. С. 213–216.

17. Шкодзинский В.С. Фазовая эволюция магм и петрогенезис. М.: Наука, 1985. 232 с.

18. Гранулитовые комплексы в геологическом развитии докембрия и фанерозоя: Материалы II Российской конференции по проблемам геологии

и геодинамики докембрия. СПб., 2007. 407 с.

19. *Добрецов Н.И.* Основы тектоники и геодинамики. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2011. 492 с.

References

1. *Green D.X.* Sostav basaltovyh magm kak kriterij ih vosniknovenia pri vulkanizme / Red. E. Bullard, D. Kann, D. Metjus // Petrologia isvergennyh i metamorficheskikh porod dna okeana. M.: Mir, 1973. S. 242–261.

2. *Green D.X., Ringwood A.E.* Proisxojdenie magmatischen porod izvechkovo-shelochnogo ryada // Petrologiya verkhney mantii. M.: Mir, 1968. S. 118 – 131.

3. *Skodzinskiy V.S.* Globalnaja petrologia po sovremennym dannym o gorachej akkrecii Semli. Yakutsk: Isd. SVFU, 2018. 244 s.

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

5. *Sablukova L.I., Sablukov S.M., Stegnitsky Yu.B., Banzeruk V.I.* Mantle xenoliths of the Nyurbinskaya pipe (Yakutia) relict of weakly metasomatized lithospheric mantle // 9th International Kimberlite Conference. Extended Abstract. N 91KC-A-00163. 2008.

6. *Zinchenko V.N., Nikitina L., Korolev N., Felix T.* Eclogites from the upper mantle beneath the Kassai Craton (Western Africa): Petrography, whole-rock geochemistry and U-Pb zircon age // Precambrian Research. 2014. V. 249. P. 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.04.014>.

7. *Zinchenko V.N.* Kimberlite severo-vostoka Angoly. Geologicheskoe stroenie, almasonosnost, almasy. Saarbrücken (Germania). Palmarium Academic Publishing, 2014. 240 s.

8. *Bereskin V.I., Smelov A.P., Zedgenizov A.N.* Ge-

ologicheskoe stroenie zentralnoj chasti Aldano-Stanovogo Shita i himicheskie sostavy porod rannego dokembrija (Ugnaja Yakutia). Novosibirsk: Isd. SO RAN, 2015. 459 s.

9. *Smidt O.Ju.* Proishogdenie Zemli i planet. M.: Isd. AN SSSR, 1962. 132 s.

10. *Ringwood A.E.* Proishogdenie Zemli i Luny. M.: Nedra, 1982. 294 s.

11. *Dodd R.T.* Meteority – petrologiya i geochimiya. M.: Mir, 1986. 382 s.

12. *Ruzmaikina T.V.* Protoplanetnyi disk: ot idei sahvata k teorii proishogdenia // Fizika Semli. 1991. N 8. S. 5 – 14.

13. *Harris P.G., Tozer D.C.* Fractionation of iron in the Solar system // Nature. 1967. V. 215. P. 1449–1451. <https://doi.org/10.1038/216781a0>.

14. *Salop L.N.* Geologicheskoe rasvitie Semli v dokembrii. L.: Nedra, 1982. 334 s.

15. *Smelov A.P., Bereskin V.I., Timofeev V.F.* Geologicheskoe stroenie zapadnoj chasti Aldano-Stanovogo Shita i himicheskie sostavy porod rannego dokembrija (Ugnaja Yakutia). Yakutsk: Isd. JaNZ SO RAN, 2009. 168 s.

16. *Minz M.V., Kaulina T.V., Konilov A.N.* Termalnaja i geodinamicheskaja evoluzija Laplandskogo granulitovogo pojasa // Granulitovye komplekсы v geologicheskom rasvitii dokembrija i fanerozoja: Materialy II Rossijskoj konferenzii. SPb., 2007. S. 213 – 216.

17. *Skodzinskiy V.S.* Fazovaya evoluzija magm i petrogenesis. M.: Nauka, 1985. 232 s.

18. *Granulitovye komplekсы v geologicheskom rasvitii dokembrija i fanerozoja: Materialy II Rossijskoj konferenzii po problemam geologii i geodinamike dokembrija.* SPb., 2007. 407 s.

19. *Dobrezov N.L.* Osnovy tektoniki i geodinamiki. Novosibirsk: Isd. NGU, 2011. 492 s.

Поступила в редакцию 09.08.2018

Принята к публикации 14.12.2018

Об авторе

ШКОДЗИНСКИЙ Владимир Степанович, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Россия, 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 39, <https://orcid.org/0000-0001-7749-1264>, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru.

About the author

SHKODZINSKIY Vladimir Stepanovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, Diamond and Precious Metal Geology Institute SB RAS, 39, pr. Lenina, Yakutsk, 677980, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-7749-1264>, shkodzinskiy@diamond.ysn.ru.

ПРИРОДА РАННЕДОКЕМБРИЙСКИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ИХ ОРУДЕНЕНИЯ

Информация для цитирования:

Шкодзинский В.С. Природа раннедокембрийских кристаллических комплексов и их оруденения по данным о горячей гетерогенной аккреции Земли // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2019. Т. 27, № 1. С.43–51. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-1-43-51>.

Citation:

Shkodzinskiy V.S. Genesis of Early Precambrian Complexes and of Theirs Metallogeny According to Data of Hot Heterogeneous Accretion of the Earth // Arctic and Subarctic natural resources. 2019. V. 24, no. 1. P. 43–51. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2019-24-1-43-51>.