

Непроизвольная сущность геологических и других природных процессов и определяющая роль воды в их проявлении

А.П.ЛИХАЧЕВ (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Принято считать, что реальные процессы являются неравновесными и протекают «сами собой» (произвольно), без воздействия внешних сил. В статье показано, что геологические и другие природные процессы в большинстве своём совершаются непроизвольно («принудительно»). Они осуществляются под воздействием внешних сред, веществ, сил и энергий с активным участием и влиянием воды. Выяснение принудительной сущности геологических и других природных процессов способствует их более глубокому познанию и эффективному решению научных и практических вопросов.

Ключевые слова: геологические и другие природные процессы, условия их проявления, определяющая роль воды.

Лихачев Александр Петрович



alexanderlikhachev@rambler.ru

The involuntary essence of geological and other natural processes and the determining role of water in their manifestation

A.P.LIKHACHEV (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

It is generally accepted that real processes are nonequilibrium and proceed «by themselves» (arbitrarily), without the influence of external forces. The article shows that geological and other natural processes are mostly performed involuntarily («forcedly»). They are influenced by external environments, substances, forces and energies with the active participation and influence of water. The identification of the forced nature of geological and other natural processes contributes to their deeper knowledge and effective solution of scientific and practical issues.

Key words: geological and other natural processes, conditions of their manifestation, determinative role of water.

Практически все природные процессы совершаются под внешним воздействием, то есть осуществляются «принудительно». Появление первого (исходного) вещества – водорода – произошло, как допускается, под принудительным воздействием Большого взрыва. Все остальные химические элементы являются принудительными продуктами коллапса массивных звёзд и взрывов сверхновых. Первичные, существенно газовые планеты образуются под принудительным влиянием гравитационных сил, концентрирующих межзвёздное вещество, а тела земного типа – за счёт их центральных твёрдых частей (ядер), освобождающихся от газовой составляющей под принудительным воздействием ударной волны первоначальной вспышки звёзд [14]. При этом твёрдое вещество вследствие его принудительной декомпрессии, вызванной сбросом газовой составляющей, полностью переходит в расплавленное состояние.

В дальнейшем декомпрессионно расплавленное тело остаётся в окружении и под принудительным воз-

действием холодного космического пространства, подвергаясь принудительному охлаждению, вызывающему его принудительные конвекцию, кристаллизацию и дифференциацию с гравитационно-принудительным образованием ядра, мантии, первичной коры, атмосферы и гидросферы.

В ходе последующей эволюции вещество этих составляющих подвергается принудительным преобразованиям – плавлению, растворению, замещению, метаморфизму и перемещению.

В геологических процессах принудительную функцию в основном выполняют гравитационная сила, тепловая энергия и вода. Гравитация обеспечивает физическую и химическую дифференциацию веществ с перемещением их в пространстве. Тепловое влияние вызывает плавление, растворение, кристаллизацию и метаморфизм природных материалов. Вода является принуждающим возбудителем и участником различных преобразований веществ и других геологических

событий. При отсутствии воды (например, на безводных планетах земного типа) свойственные Земле процессы не происходят.

Таким образом, природные, в том числе и геологические, процессы принудительны по своей сути. Констатация этого факта делает возможными и необходимыми выявление, изучение и учёт источника принуждения, его происхождения, мощности, свойств, состава, строения, механизмов и вектора проявления. В целом же сам этот факт указывает на всеобщую принудительность событий, совершаемых в природе, в образовании и эволюции всего мира.

Наблюдаемые геологические процессы начались со времени гравитационно-принудительного опускания воды на поверхность планеты из первично горячей атмосферы, принудительно охлаждённой окружающим космосом, и последующего принудительного формирования супракристалльных образований под воздействием и с участием воды (~4000 млн. лет назад, судя по соответствующим формациям Исуа в Западной Гренландии и других регионов мира [1, 3]).

Вода оказывает определяющее влияние в дальнейших принудительных событиях образования и преобразования земной коры и в эволюции планеты в целом, выполняя при этом роль внешнего источника вещества и энергии – возбудителя процессов. Она производит принудительную массовую гидратацию первичных пород, сопровождающуюся уменьшением их плотности и увеличением объёма, которые вызывают перемещение, декомпрессию и плавление веществ с принудительным проявлением как тектонических, магматических и гидротермальных процессов, так и процессов рудообразования.

Отметим следующие основные свойства воды, оказывающие наибольшее принудительное влияние на проявление геологических процессов [12].

1. Уменьшение плотности и вязкости силикатных расплавов (рис. 1, А–В). Эти эффекты имеют очень важное значение на стадии общего расплавного состояния Земли и других планет её типа. На данной стадии вещество Земли, содержащее Fe ~30 мас.%, должно было состоять из двух жидкостей: силикатной, насыщенной железом, и избыточной металлической, преимущественно железной. Последняя сначала (при наиболее высоких температурах) находилась в диспергированном (распылённом) виде в преобладающей по количеству первой (силикатной), удерживаясь в ней во взвешенном состоянии. С понижением температуры диспергированные частицы сливались в более крупные выделения, способные к гравитационному осаждению с формированием металлического ядра планеты.

Эффект диспергирования тяжёлых жидкостей в силикатных расплавах был установлен автором ранее [10], преимущественно в экспериментах с сульфидно-силикатными системами (см. рис. 1, Г–Е). Его проявление в сочетании с эффектами влияния воды на

плотность и вязкость силикатных расплавов способно определять дальнейшую судьбу планетных тел.

От содержания воды и степени снижения за счёт неё плотности и вязкости силикатного расплава зависит возможность и количество накопления в центральных частях планет металлического железа, влияющего на многие их свойства, в том числе на существование магнитного поля. Безводные и маловодные планеты из-за высокой плотности и вязкости их силикатного расплава неспособны создавать в себе металлические ядра, оказывающие влияние на эволюцию планеты и проявление на них геологических процессов.

2. Снижение под воздействием воды температуры плавления веществ на величину до 550°C и более (рис. 2, А–В).

Благодаря этому свойству вода, в случае её проникновения в сухую и горячую мантию, может обеспечить зарождение магм при относительно низких температурах и проявление мафит-ультрамафитового магматизма без каких-либо дополнительных энергетических затрат, то есть на стадии охлаждения планеты, что невозможно при отсутствии воды – у безводных планет.

3. От наличия и воздействия воды зависят состав и рудоносность зарождающихся в мантии магм (см. рис. 2, В).

Особенно важным здесь является эффект перемещения под влиянием воды линии солидуса пиролита в более низкотемпературную область по отношению к солидусу сульфидов. Это делает возможным более раннее (опережающее) зарождение бессульфидных мафических (преимущественно толеитовых) магм ($MgO \leq 8$ мас.%) по сравнению с сульфидоносными мезомафическими (MgO 8–33 мас.%) магмами, формирующими платино-медно-никелевые и платиновые месторождения [10].

Вынос бессульфидных магм из горизонта магмообразования приводит к увеличению содержания рудных веществ в остающемся в твёрдом состоянии (реститовом) материале. При его дальнейшем плавлении сначала зарождаются сульфидоносные мезомафические магмы (с MgO 8–33 мас.%), формирующие платино-медно-никелевые месторождения, а затем бессульфидные ультрамафические продукты (с $MgO > 33$ мас.%), обогащённые магнием, хромом, силикатным никелем и тугоплавкими металлами платиновой группы. Именно такая последовательность зарождения в мантии и внедрения в земную кору магм наблюдается во всех регионах проявления рудоносного мафит-ультрамафитового магматизма [10].

Положение сухого солидуса перидотита (см. рис. 2, В, красная линия) в исключительно высокотемпературной области в случае отсутствия воды делает практически невозможным проявление базальт-андезитового и более кислого магматизма. Иначе говоря, без воды не могли осуществляться свойственные Земле магматические процессы, и, соответственно, не могли формироваться связанные с ними рудные месторождения.

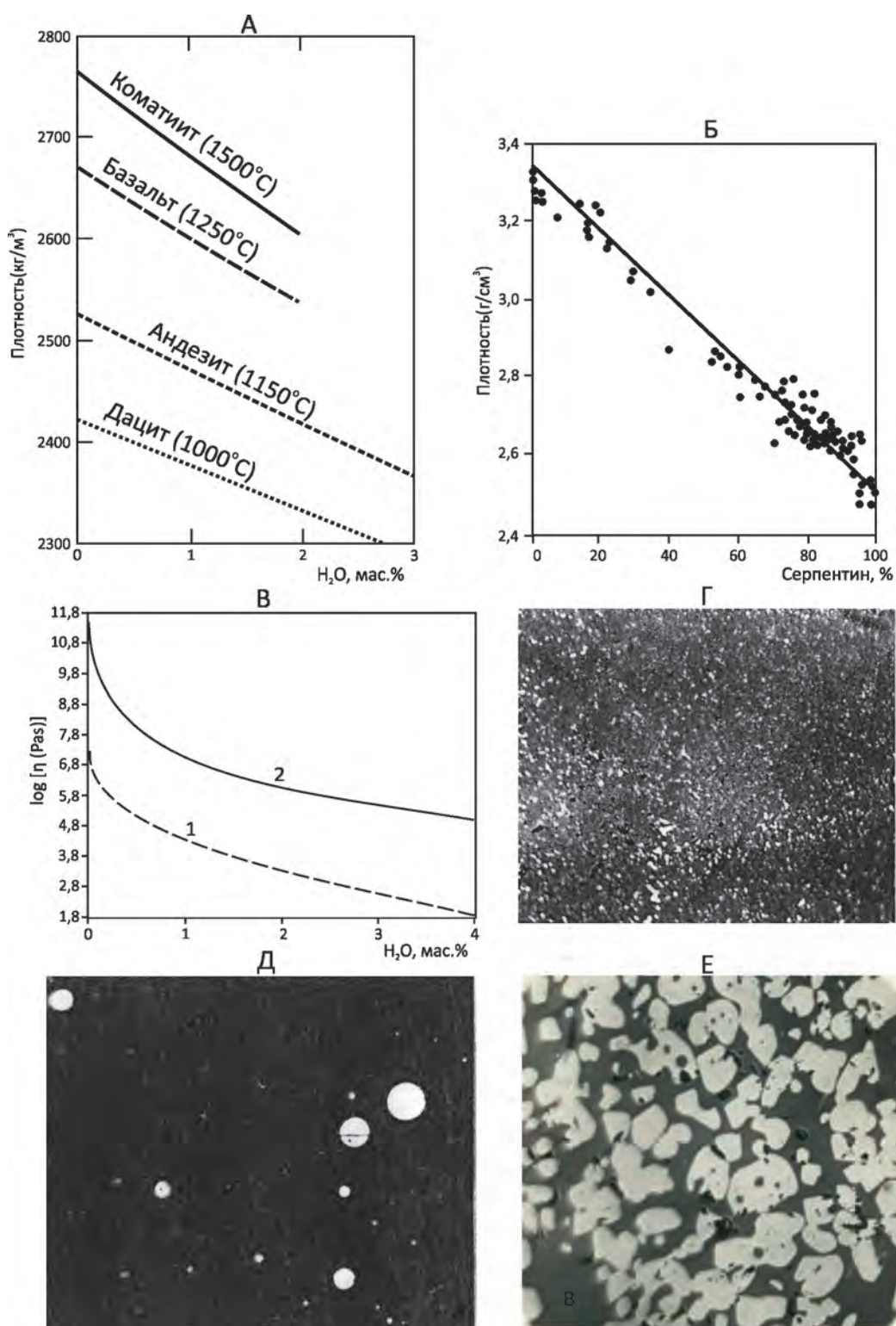


Рис. 1. Влияние воды на свойства пород, минералов и силикатных расплавов и характер распределения в них рудных веществ:

А – изменение плотности пород и их расплавов с повышением содержания в них H₂O [25]; Б – изменение плотности оливина с увеличением степени его гидратации (серпентинизации) [24]; В – изменение вязкости расплавов базальта (1) и риолита (2) с увеличением содержания в них H₂O при температуре ~827°C [22]; Г – эмульсионные выделения сульфидов в закалённом расплаве (стекле) пикритового состава, температура 1500°C, ув. 350 [10]; Д – каплевидные выделения сульфидов в том же расплаве при температуре 1150°C, ув. 150 [10]; Е – Fe-Ni выделения в пикритовом материале, температура 800°C, ув. 250 [10]

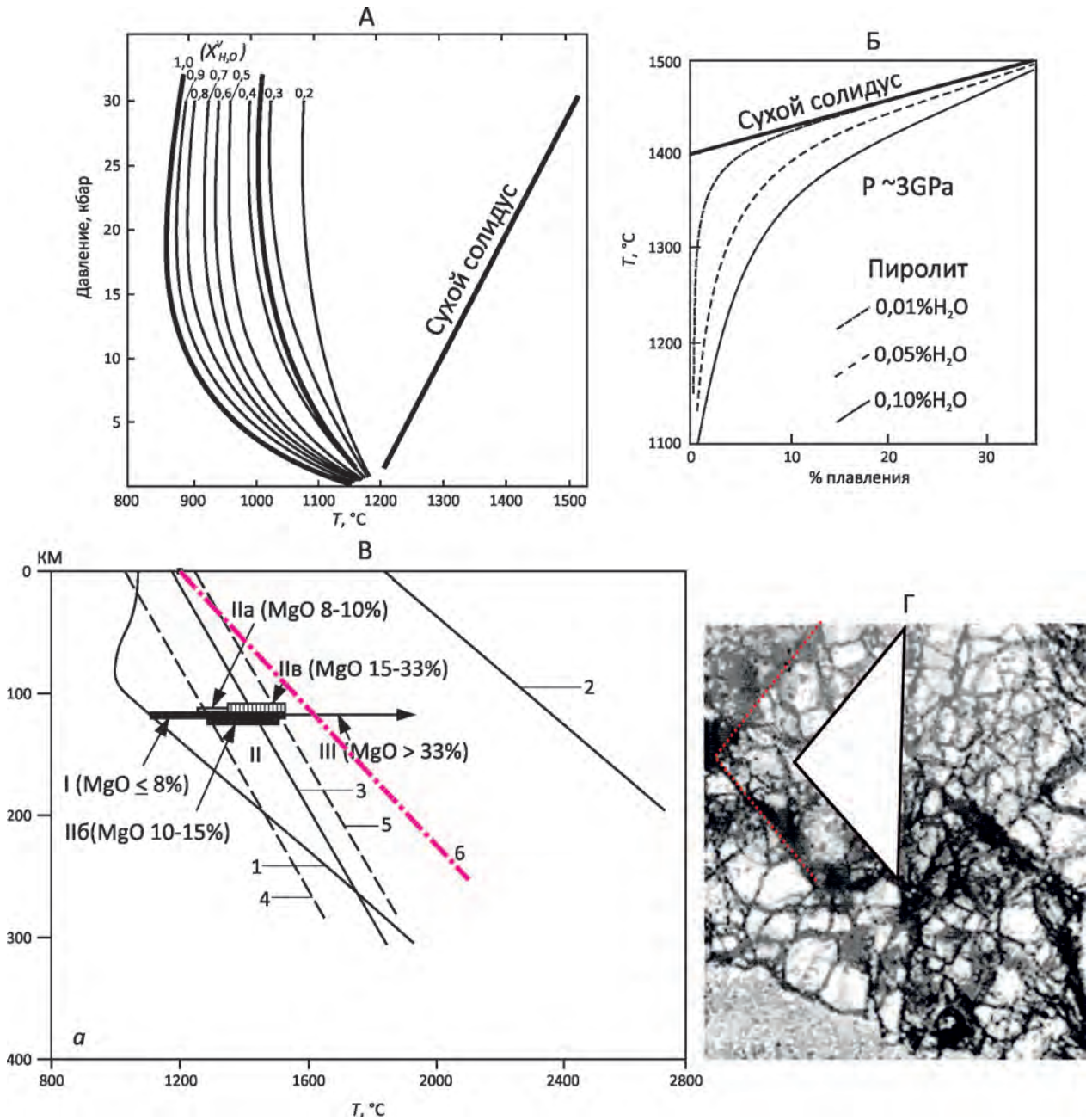


Рис. 2. Влияние воды на температуру и степень плавления веществ (перидотита и пиролита), на состав образующихся при этом расплавов (магм) и на изменение (серпентинизацию) оливина:

А – положение солидуса перидотита в зависимости от мольной доли воды в присутствующем флюиде, содержащем, кроме воды, CO_2 [16]; Б – снижение температуры солидуса и степень плавления пиролита с увеличением содержания воды [23]; В – влияние воды на образование рудоносных и безрудных мафит-ультрамафитовых магм [10]: 1, 2 – линии солидуса и ликвидуса пиролита, содержащего 0,1 мас.% воды [29], 3 – линия солидуса пирротина [4, 28], 4, 5 – приблизительные линии солидуса и ликвидуса сульфидов мантии, 6 – сухой солидус перидотита; I – участок зарождения сравнительно низкотемпературных бессульфидных магм мафического состава ($MgO \leq 8\%$); участки зарождения сульфидоносных магм: IIa – относительно низкотемпературные ($MgO 8-10\%$), несущие богатые медью (по отношению к никелю) сульфиды ($Ni:Cu=1:3-4$), IIб – среднетемпературные ($Mg 10-15\%$), включающие всю сульфидную фракцию исходного вещества ($Ni:Cu=1:1,2-2,5$), IIв – высокотемпературные ($MgO 15-33\%$), содержащие бедные медью сульфиды ($Ni:Cu=1 \rightarrow 10:1$); III – участок выплавления бессульфидных высокотемпературных магм ультрамафического состава ($MgO > 33\%$); Г – серпентинизация кристалла оливина, осуществлённая в экспериментах автора по гидратации породообразующих минералов, ув. 35; $T 278^\circ C$, $P 96,5 \text{ атм}$; белый треугольник – приблизительная величина приращения размера кристалла [12]

При наличии воды резко расширяется температурный интервал между солидусом и ликвидусом перидотита, что позволяет осуществляться глубокой дифференциации веществ в ходе их парциального плавления и фракционной кристаллизации с накоплением ценных компонентов. То есть безводные магмы не могут формировать месторождения полезных ископаемых.

4. Гидратация и дегидратация породообразующих минералов (см. рис. 2, Г), которые уменьшают или увеличивают плотность пород на величину до единицы и более (см. рис. 1, А, Б) и повышают или снижают их объём до 28% и более.

Гидратация вещества мантии в срединно-океанических зонах может приводить к подъёму (всплытию) мантийных масс и проявлению за счёт выделяемого при реакции гидратации тепла рудообразующих гидротермальных процессов в виде чёрных курильщиков, как это, например, наблюдается в поле Рейнбоу и других полях Срединно-Атлантического хребта [7]. Одновременно гидратация, вызывая всплытие мантийных масс, может обеспечивать декомпрессию нижележащих толщ мантии, приводящую к их плавлению, магмообразованию и проявлению мафит-ультрамафитового магматизма. Все-му этому может способствовать снижение температуры плавления мантийного материала под действием воды. В результате в движение могут вовлекаться огромные массы мантийного вещества, способные вызывать как спрединг и субдукцию океанического дна, так и перемещение континентальных плит. При этом важно отметить, что для частичного перевода веществ в расплавленное состояние, делающего их подвижными, требуется весьма малое количество воды – ~0,01%, и для этого не нужно повышение температуры (см. рис. 2, А, Б).

5. Вода с её возможностью проникать в мантию, снижать температуру плавления веществ и увеличивать их объём может быть причиной проявления различных видов континентального магматизма и образования рудоносных осадочно-вулканогенных депрессионных структур, к которым относятся зеленокаменные и другие подвижные пояса и наложенные прогибы, в том числе Тунгусская синеклиза с её Норильским рудным районом [10].

В Тунгусском регионе [10, 12] был сформирован крупный термический плюм, который осуществлял фракционное плавление водосодержащей верхней мантии сначала с образованием бессульфидных мафических магм, а затем сульфидоносных мезомафических. За счёт первых сформировались базальтовые толщи региона, а за счёт вторых – рудоносные интрузии и месторождения Норильского района.

6. Вода способна обеспечивать достижение высоких давлений и осуществлять глубокий метаморфизм пород и руд. При этом существует большая зависимость давления воды от коэффициента заполнения вмещающего её пространства [12, 18].

Этот эффект обычно не учитывается в геологических построениях, однако в большинстве случаев в тол-

щах земной коры и мантии вода находится в условиях 100% заполнения свободного пространства и может создавать высокие давления при сравнительно низких температурах и на относительно небольших глубинах.

Особенно большие давления достигаются при резком воздействии на воду высоких температур. Они наблюдались автором в экспериментах по воздействию сфокусированного лазерного луча на образцы пород, руд и минералов, погружённых в воду [8, 10, 15], то есть при действии светогидравлического эффекта, открытого академиком А.М.Прохоровым и его сотрудниками [2].

7. Вода и водные растворы являются основным растворителем, дезинтегратором и транспортёром химических элементов, минералов и горных пород земной коры и мантии, обуславливающими дифференциацию веществ и образование рудных и нерудных месторождений.

Таким образом, приведённые данные позволяют допускать, что вода способна обеспечить эндогенную активность Земли на стадии её охлаждения и может являться основной причиной формирования земной коры и проявления геологических, и в том числе рудообразующих, процессов.

Не вдаваясь в ранее обсуждаемые подробности формирования и эволюции Земли и её коры [10, 11, 26], рассмотрим возможную последовательность этих событий с участием в них воды. Практически неоспоримым и общепризнанным является тот факт, что Земля и другие планеты земной группы прошли стадию общего плавления [5, 6]. Из-за недостаточности у них для этого собственных масс [5] автором показано, что данные тела изначально могли представлять собой твёрдые ядра преимущественно газовых планет [14]. Переход этих тел в расплавленное состояние происходил за счёт их декомпрессии при сбросе газовой составляющей под воздействием ударной волны, вызванной первоначальной вспышкой Солнца.

После полного декомпрессионного плавления исходного вещества [14] Земля, как и остальные планеты её группы и Луна, оказалась в окружении космического пространства, представляя собой по отношению к нему открытую систему. Взаимоотношение с ним в основном сводится к потере (отдаче в космос) тепла (для Земли ~ $1,3 \times 10^{21}$ Дж/год) и поступлению из космоса маловлияющих на общие геологические процессы солнечного излучения (~ $5,5 \times 10^{24}$ Дж/год), а также твёрдых фрагментов, которые в основном были выброшены при декомпрессионном взрыве самого же исходного тела [14]. Из-за относительно большой массы Земли и её более сильного притяжения эти фрагменты и возможные другие близлежащие космические тела были поглощены ею сравнительно быстро, в основном на стадии своего расплавленного состояния. Поэтому на поверхности Земли отсутствуют многочисленные следы (кратеры) падения космических тел, в отличие от меньших по массе планет земной группы и Луны, но не Венеры, имеющей

близкую к Земле массу и также содержащей сравнительно небольшое количество импактных кратеров.

Потеря тепла со временем вызвала кристаллизацию расплавленного тела, которая происходила с выделением воды и других летучих компонентов, растворённых в силикатном расплаве (до ~10 мас.%).

В зависимости от общей массы тела, вода в одном случае при массе, соответствующей Земле ($5,97219 \times 10^{24}$ кг), поднималась над расплавленным телом и удерживалась над ним в составе первичной атмосферы, а в других, при меньшей массе тела, как у Венеры ($4,86 \times 10^{24}$ кг) и остальных планет земной группы, обладающих меньшей силой гравитационного притяжения, улетучивалась безвозвратно в космическое пространство. У Марса она некоторое время задерживалась и производила эрозию его поверхности, но в последствии практически исчезла, особенно её жидкая фаза. Некоторое количество воды было и на поверхности Венеры, однако близкое Солнце её испарило и вытеснило за пределы планеты.

Кристаллизация расплава во всех случаях сопровождалась дифференциацией минеральных фаз и довольно длительное время поддерживала температуру тела кристаллизационным теплом. После завершения кристаллизации большей части тела оно перешло в состояние общего охлаждения.

На этом этапе пути эволюции рассматриваемых планетных тел расходятся. Безводные тела с массой меньшей, чем у Земли, заканчивая общую кристаллизацию и продолжая охлаждаться, остаются внутренне пассивными. Их дальнейшая активность связана в основном с падением твёрдых космических фрагментов без проявления геологических, в том числе и рудообразующих, процессов.

Водосодержащая Земля благодаря воде имела и продолжает иметь возможность для последующей активности, приводящей к реализации присущих ей геологических событий.

Кристаллизация расплавленной Земли, вероятно всего, началась с её верхних, принудительно охлаждающихся слоёв, сопровождалась принудительным (под действием силы гравитации) погружением тяжёлых зёрен выделяемых минеральных фаз в более глубокие горизонты и постепенным смещением фронта кристаллизации вниз. Кристаллизовался преимущественно оливин. Другие породообразующие минералы практически не выделялись, так как фронт кристаллизации постоянно подпитывался (восстанавливал свой состав) свежим расплавом, поступающим из нижележащих конвектирующих слоёв. В результате в верхних горизонтах гравитационно-принудительно накапливался остаточный расплав мафического состава, а в нижних – ультрамафический материал. В конечном итоге за счёт ультрамафической части принудительно сформировалась первичная перидотитовая (пиролитовая) мантия, а за счёт мафической – первичная базальт-андезит-анортозит-гранитоидная кора.

Мафический расплав, сформировавший первичную кору, закристаллизовался несколько позднее затвердевания мантийного материала. Главной причиной этого мог быть гравитационно-принудительный поток кристаллизационного тепла и флюидов мантии. Принудительная (под воздействием внешнего охлаждения) кристаллизация базальт-андезитового расплава первичной коры происходила фракционно, с гравитационно-принудительной дифференциацией вещества на меланократовую часть внизу и лейкократовую верху. За счёт меланократовой части сформировалась пикритоподобная нижняя кора, а за счёт лейкократовой – верхняя андезит-анортозит-гранитоидная. Первичный облик поверхности коры мог быть подобным Луне и состоял из сравнительно лёгких анортозит-гранитоидных выступов (материков) и более тяжёлых базальт-андезитовых депрессий (морей).

Поступавшие гравитационно-принудительно из глубин к земной поверхности вода и другие летучие компоненты вначале из-за высокой температуры находились во взвешенном (в парообразном и газовом) состоянии, формируя первичную атмосферу. Затем с понижением температуры атмосферы до 100°C и ниже вода гравитационно-принудительно опускалась на поверхность Земли, образуя гидросферу.

В дальнейшем совершаемые на Земле события, выраженные уже в наблюдаемых геологических процессах, продолжают осуществляться принудительно, под воздействием внешних сред, веществ, сил и энергий.

Плавление веществ и проявление магматизма в основном происходит за счёт декомпрессии высокотемпературных мантийных материалов, вызванной их разуплотнением, и в результате снижения температуры солидуса (перехода в расплав) под воздействием воды. В коровых условиях расплавы возникают и под влиянием на материалы коры внедряемых в них высокотемпературных мантийных магм.

Гидротермальные процессы полностью принудительны – осуществляются под воздействием и при непосредственном участии поступающих в земную кору воды и мантийного тепла, доставляемого магматическими расплавами, горячими твёрдыми телами и геотермическим потоком.

Тектонические движения Земли связаны с перемещениями мантийных масс, вызванными их разуплотнением под принудительным действием воды – гидратации и плавления веществ.

Начало опускания воды из атмосферы на земную поверхность определяло собой переход планеты в стадию зафиксированного в континентах геологического развития, происходящего под действием воды на фоне общепланетарного охлаждения [10, 11]. Иначе говоря, геологическая история Земли – это события, реализуемые на ней на стадии её охлаждения и в основном благодаря действию воды.

Опускающаяся на земную поверхность вода гравитационно-принудительно заполняла «морские» базальт-

андезитовые депрессии и пониженные участки возвышенных анортозит-гранитоидных областей, производя принудительную эрозию пород и снос эрозионного материала в понижения рельефа с гравитационно-принудительным формированием первых супракрустальных образований. Одновременно вода гравитационно-принудительно проникала в более глубокие, ещё горячие горизонты первичной коры и мантии, используя для этого ослабленные зоны и приводя к принудительной гидратации мантийного вещества, способствующей его гравитационно-принудительному подъёму и декомпрессионному плавлению, а также вызывая плавление веществ нижележащих слоёв за счёт понижения температуры их солидуса.

Проникновение воды в мантию и гидратация её материала принудительно обеспечивают в последующем проявление практически всех свойственных Земле генетических особенностей и геологических процессов.

Массовая гидратация началась с пород коры и продолжается до сих пор в остывающих до $\sim 500^\circ\text{C}$ горизонтах верхней мантии, в местах проникновения в них поверхностной воды. Она сопровождается увеличением объёма (до 28%) подвергающихся гидратации твёрдых веществ и значительным выделением тепловой энергии (ΔH^0 серпентина равна $-2086,72$ ккал/моль).

Вода следует за изотермой 500°C вне зависимости от глубины её опускания. Это связано с тем, что между фронтом и тылом области гидратации существует температурный градиент, который вызывает движение воды к фронту гидратации практически независимо от физического состояния гидратируемой массы.

На ранних стадиях, когда проникновение воды в первичную земную кору и мантию было сравнительно неглубоким, гидратация приводила к местным воздыманиям земной поверхности и проявлению локального магматизма в виде интрузивных и эффузивных фаций коматиитовой формации (в архейское время), а позднее (в раннем и среднем протерозое) – к образованию мелких и крупных стратифицированных комплексов, в том числе бушвельдского типа [9].

В дальнейшем (в позднем протерозое) с более глубоким проникновением воды в мантию и образованием глобальных (в основном ротационных от вращения планеты) ослабленных зон [13] происходила массовая гидратация и разуплотнение мантийного вещества, его подъём в земную кору с формированием рифтогенных структур, преобразующихся со временем в срединно-океанические хребты. В них под воздействием подъёма гидратированного вещества мантии, а также её дезинтегрированных (за счёт частичного плавления под действием воды) нижележащих слоёв начал осуществляться спрединг океанического дна, погружающегося в мантию в зонах субдукции. Обычно оба эти процесса проявляются при наличии воды, в границах океанических и морских бассейнов.

При этом важно отметить, что вода, составляющая $\sim 0,000025\%$ вещества Земли, малым количеством вы-

зывает движение огромных масс силикатного материала. Она выполняет роль спускового механизма и приводит к подъёму и частичному плавлению вещества мантии, обеспечивающих проявление океанического (преимущественно мафического) магматизма и общую дезинтеграцию мантийного материала, делающую его подвижным. К тому же поступающая в мантию в зонах спрединга вода большей частью возвращается в гидросферу в зонах субдукции вследствие дегидратации погружающейся океанической коры – из-за повышения температуры до 500°C и более.

Схематическая картина влияния воды на процессы перемещения континентальных плит, а также спрединг и субдукцию океанического дна показана на рис. 3. Принципиальная особенность этой схемы состоит в том, что в ней проявление рассматриваемых процессов осуществляется не в результате общей конвекции мантийного вещества, как принято считать, а вследствие перемещения её сравнительно ограниченных масс под воздействием воды и с осуществлением дифференциации материала мантии на мафическую и ультрамафическую (реститовую) составляющие.

В зонах субдукции мафическая часть, переходя в расплав и участвуя в проявлении островодужного магматизма, в большинстве своём остаётся в пределах земной коры, а ультрамафическая погружается в мантию, обогащая её магнием. В целом же этот процесс продолжает химическую и минеральную дифференциацию земного вещества.

Движение океанических плит и континентальных блоков осуществляется по границе Мохоровичича (Мохо) с опорой на твёрдую и более плотную подстилающую мантию. Этому способствует частичная серпентинизация реститового материала плит – зёрен оливина их ультрамафической части, находящихся в дезинтегрированном состоянии.

Важно отметить, что почти во всех научных публикациях, рассматривающих спрединг и субдукцию океанических плит, последние находятся именно на уровне и в пределах расположения границы Мохо. Однако на данный факт не обращается внимание, так как всё это связывается с более глубинными событиями.

В современных концепциях для объяснения наблюдаемых движений океанических и континентальных участков земной коры привлекается механизм тепловой конвекции твёрдого вещества мантии [17, 19 и др.]. Возможность его проявления во многом сомнительна и маловероятна, в частности, по следующим причинам.

Мантия состоит из силикатного вещества котектического состава (рис. 4, А), породообразующие минералы которого представляют собой твёрдые растворы, обладающие, как и порода в целом, широким температурным интервалом своего плавления (перехода в расплав) – 685°C по оливину (см. рис. 4, Б). Поэтому при наличии избыточного тепла (чем объясняется конвекция мантии) такое вещество должно не «размягчаться» и

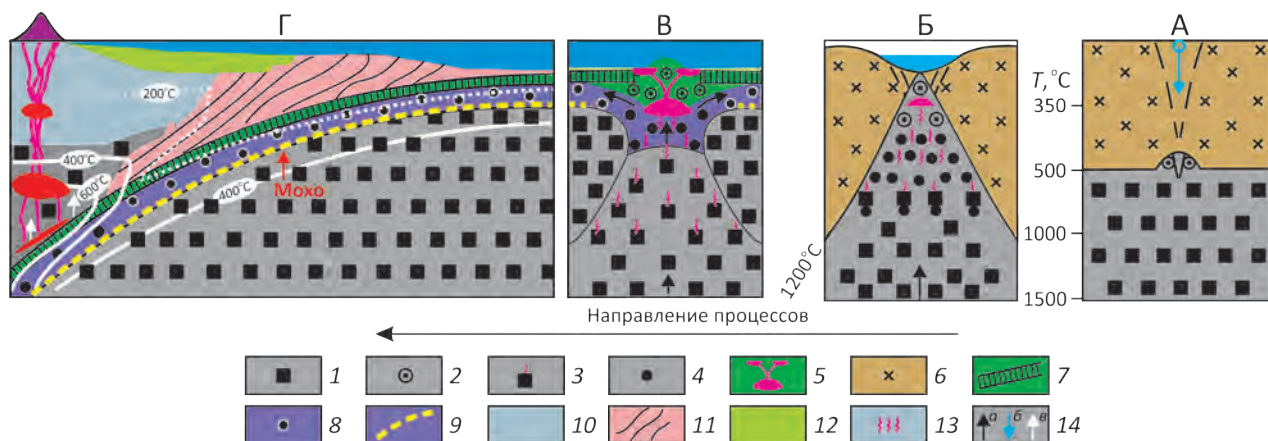


Рис. 3. Схема участия воды в процессах перемещения континентальных плит, спрединга и субдукции океанического дна:

А, Б – последовательность подъёма мантийного материала (вследствие его гидратации) и раздвижения континентальной коры; В – зона спрединга дна океана; Г – зона субдукции океанической плиты; вещество мантии: 1 – первичное, 2 – подвергающееся серпентинизации, 3 – подвергающееся декомпрессионному плавлению, 4 – реститовый материал; 5 – скопление расплава, образующегося при декомпрессионном плавлении вещества мантии; 6 – материки; 7 – океаническая кора; 8 – частичная серпентинизация зёрен реститового оливина; 9 – граница МОХО; 10 – континентальная кора; 11 – образования коллапсирующей призмы; 12 – осадочные образования; 13 – магма островной дуги; 14 – направления движения материала мантии (а), воды литосферы (б) и воды дегидратации пород океанической плиты (в); синий цвет – вода

конвектировать, как предполагается, а подвергаться поэтапному (фракционному) плавлению в направлении от легкоплавких к тугоплавким фракциям. Возникающий при этом расплав способен скапливаться и испытывать конвекцию, удаляя тем самым излишнее тепло.

Примером может служить ядро планеты, представляющее собой, как обосновано в литературе, ассоциацию твёрдых, преимущественно железоникелевых растворов (см. рис. 4, В). Можно допускать, что под влиянием (принуждением) общего (внешнего) охлаждения планеты при современных *P-T* параметрах его наиболее легкоплавкая фракция (+S и другие примеси) перешла и находится в расплавленном конвектирующем (отводящем тепло) состоянии, составляя внешнюю часть ядра, а тугоплавкая – твёрдую внутреннюю.

«Отгон» легкоплавкой составляющей происходил и происходит также в мантии. Вначале он осуществлялся под воздействием внешнего охлаждения расплавленной Земли, вызывающего общую котектическую кристаллизацию силикатного расплава мантии (см. рис. 4, А). Кристаллизация приводила к накоплению легкоплавкой фракции преимущественно мафитового состава вверху планеты. Затем, уже после полного затвердевания мантии, «отгон» стал вызываться локальными принудительными факторами (в основном воздействием воды) и проявляться в виде магматических процессов.

Известно, что остывающие твёрдые тела, к которым относятся планеты земной группы, находящиеся под воздействием холодного космоса, непрерывно теряют свою внутреннюю энергию – $U=U(T, V)$, и потому снижают

возможность совершать какую-либо существенную работу (процессы) без участия внешних веществ и сил.

В сущности, у Земли нет ни внутренних, ни внешних энергий, которые бы обеспечили допустимую сухую циркуляцию большей части её объема (~83%) и массы (~67%) на протяжении многих миллионов лет. А если бы они были, то это привело бы к полному наномикронному истиранию её вещества и его полному плавлению, то есть не к охлаждению земных недр (как предполагается), а к их разогреву.

Современные теплотери Земли оцениваются в $1,3 \times 10^{21}$ Дж/год. Вынос тепла за счёт кондуктивной теплопередачи – 10^{21} Дж/год. Оставшиеся $0,3 \times 10^{21}$ Дж/год приходится на вынос остальными возможными путями, в том числе предполагаемой всеобщей конвекцией мантии. Получается весьма малая величина. Она соответствует только частичному (последичному и фрагментарному) перемещению вещества мантии, осуществляемому, как говорилось выше, под воздействием воды.

Таким образом, можно сделать следующие основные выводы.

1. Главная причина проявления геологических и других природных процессов состоит в наличии на Земле воды и её проникновении в горячую мантию.

2. Геологические и другие природные процессы в большинстве своём являются «принудительными». В основном они осуществляются не в самопроизвольном стремлении и движении веществ и систем к равновесному состоянию, а в их принудительном образовании и преобразовании под действием внешних сред, веществ,

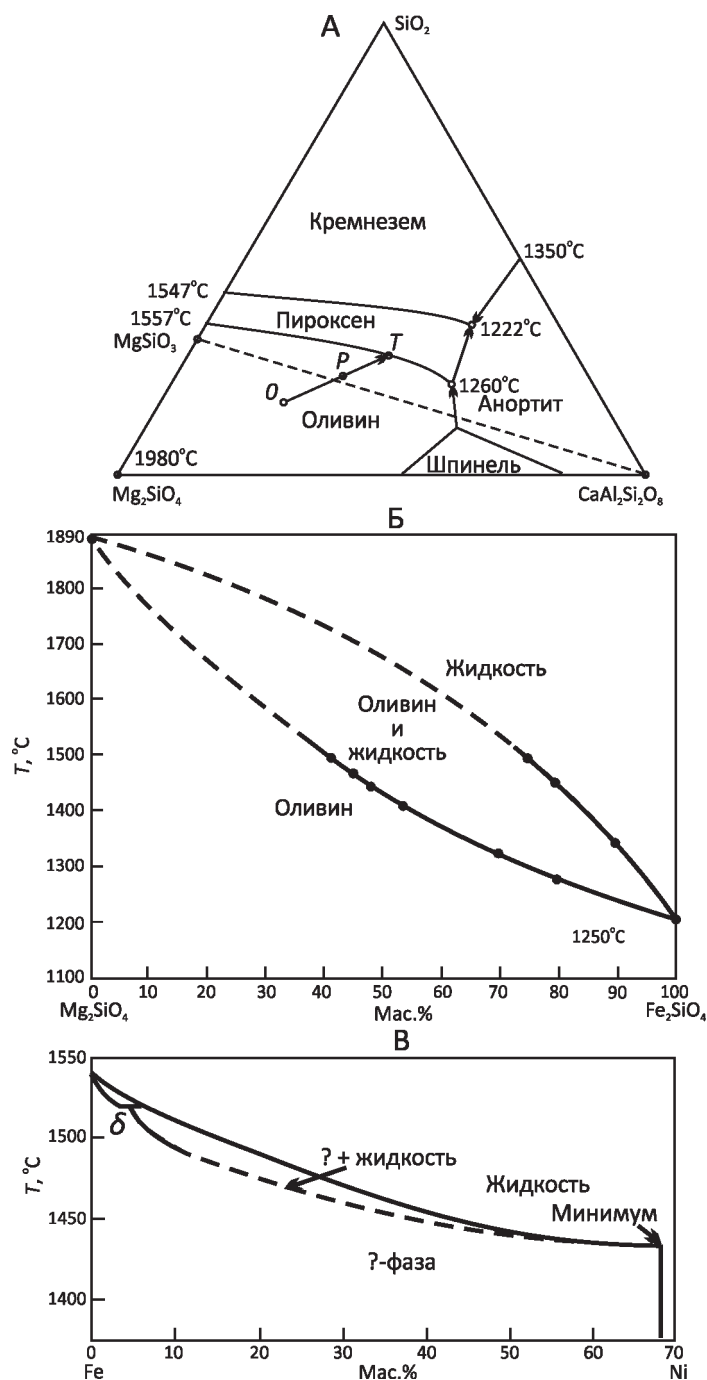


Рис. 4. Диаграммы состояний силикатных и металлических веществ (систем):
 системы: А – Mg_2SiO_4 - $CaAl_2Si_2O_8$ - SiO_2 [20], Б – Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 [21], В – Fe-Ni [27]

сил и энергий. И только после этого вещества и системы эволюционируют (и тоже принудительно) в сторону равновесия, практически никогда не достигая его. То есть наибольшие свершения приходятся на стадию образования и преобразования веществ и систем.

3. «Принудительность» является общим и главным фактором совершаемых в природе событий. В

земных условиях определяющая роль в этом принадлежит воде. Она влияет на образование и эволюцию планеты в целом, на проявление практически всех геологических процессов, а также служит основой зарождения, существования и преобразования органического мира, цивилизаций и жизни как таковой.

4. Для оценки масштабности и продуктивности геологических и других процессов, в том числе в отношении образования и нахождения месторождений полезных ископаемых, целесообразно опознание источника принуждения, выяснение его размерности и мощности, а также энергетических затрат, требуемых для реализации процессов. Каждому событию и процессу присущи вполне определённые энергетические затраты и их источники. Имея сведения о них, можно судить о возможности и пределах его проявления. Например, допускать или нет всеобщую конвекцию твёрдого мантийного вещества на протяжении большей части истории Земли (~4 млрд. лет). Можно также судить о перспективности нахождения новых месторождений богатых руд и целесообразности проведения дальнейших поисковых работ на них, например, в Норильском районе. Для этого нужны сведения о количественном соотношении и энергии мобилизации бессульфидных (мафических) и сульфидоносных (мезомафических) фракций в исходном мантийном веществе и в магматических проявлениях региона.

5. Геологические процессы Земли совершаются под влиянием и с участием внешних веществ и энергий. В основном эту роль выполняет вода гидросферы. На безводных планетах и телах земного типа они не проявляются, как и не образуются присущие им месторождения полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллорт Я. Древние супракрустальные породы с возрастом свыше 3760 млн. лет и ассоциирующиеся с ними полосчатые железистые кварциты, район Исуа, центральная часть западной Гренландии / Ранняя история Земли. – М.: Мир, 1980. С. 188–201.
2. Аскарьян Г.А., Прохоров А.М., Шипуло Г.П. Светогидравлический эффект. Авторское свидетельство № 65 // Бюллетень изобретений. 1969. № 19. С. 3.
3. Докембрийские железорудные формации Мира. – М.: Мир, 1975.
4. Кеннеди Дж.Р., Рыженко Б.Н. Влияние давления на эвтектики в системах Fe–FeS // Геохимия. 1973. № 9. С. 1392–1396.
5. Кузнецов В.В. Физика Земли и Солнечной системы. – Новосибирск, 1990.
6. Кузнецов В.В. Физика горячей Земли. – Новосибирск, 2000.
7. Леин А.Ю., Сагалевич А.М. Курильщики поля Рейнбоу – район масштабного абиогенного синтеза метана // Природа. 2000. № 8. С. 44–53.
8. Лихачев А.П. Лазерный способ исследования веществ при сверхвысоких температурах и давлениях // Геохимия. 1978. № 10. С. 1554–1557.
9. Лихачев А.П. О происхождении пегматоидных трубок Бушвельдского магматического комплекса // Отечественная геология. 2002. № 3. С. 21–28.
10. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006.
11. Лихачев А.П. Определяющая роль воды в формировании и эволюции Земли // Отечественная геология. 2006. № 1. С. 53–63.
12. Лихачев А.П. Возможности проявления рудообразующих процессов при формировании и эволюции земной коры // Отечественная геология. 2009. № 3. С. 22–33.
13. Лихачев А.П. Формирование континентальной коры и образование в ней месторождений полезных ископаемых // Отечественная геология. 2011. № 4. С. 55–63.
14. Лихачев А.П. Планеты земной группы как твёрдые остатки (ядра) обычных преимущественно газовых планет, потерявших газовую составляющую при первоначальной вспышке Солнца // Отечественная геология. 2014. № 3. С. 89–100.
15. Лихачев А.П. К вопросам образования, поведения и фракционирования химических элементов, их изотопов и минералов изотопов в природных процессах // Отечественная геология. 2017. № 6. С. 80–93.
16. Майсен Б., Беттчер А. Плавление водосодержащей мантии. – М.: Мир, 1979.
17. Новая глобальная тектоника (тектоника плит). – М.: Мир, 1974.
18. Самойлович Л.А. Зависимости между давлением, температурой и плотностью водно-солевых растворов. – М., 1996.
19. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. – М.: Изд-во МГУ, 2002.
20. Andersen O. The system anortite–forsterite–silica // Am. Journ. Sci. 1915. Ser. 4. Vol. 39. P. 407.
21. Bowen N.L., Schairer J.F. The system MgO–FeO–SiO₂ // Am. Journ. Sci. 1935. Ser. 5. Vol. 29. P. 197.
22. Giordano D. Experimental Determinations and Modelling of the Viscosity of Multicomponent Natural Silicate Melts: Volcanological Implications / Inauguraldissertation zur erlangung des doktorgrades der fakultät für geowissenschaften der ludwig-maximilians-universität. – Munchen, 2002.
23. Green D.H. Experimental petrology of peridotites, including effects of water and carbon on melting in the Earth's upper mantle // Phys. Chem. Minerals. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. P. 28.
24. Iyer K. Mechanisms of serpentinization and some geochemical effects // Dissertation for the degree of Doctor Scientiarum Physics of Geological Processes Faculty of Mathematics and Natural Sciences University of Oslo. September 2007. P. 36.
25. Leshner C.E., Spera F.J. Thermodynamic and Transport Properties of Silicate Melts and Magma / The Encyclopedia of Volcanoes. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00005-5>. Ch. 5. P. 113–141.
26. Likhachev A.P. The crucial role of water in the formation and evolution of the Earth // Abstract. 32nd IGC. Italy. 2004. Part 2. P. 1087.
27. Lovering J.F. Differentiation in the iron–nickel core of a parent meteorite body // Geochim. et Cosmochim. Acta. 1957. Vol. 12. P. 238–252.
28. Sharp W.E. Melting curves of sphalerite, galena, and pyrrhotite and decomposition curve of pyrite between 30–65 kilobars // J. Geophys. Res. 1969. Vol. 74. No. 6. P. 1646–1652.
29. Wyllie P.J. Experimental limits for melting in the Earth's crust and upper mantle // Geophys. Monog. Ser. 1971. 14. P. 279–301.