



МОДЕЛЬ ГОРЯЧЕЙ ЗЕМЛИ. НОВЫЙ ПОДХОД К ФИЗИКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В. В. Кузнецов

Обсуждается физика явлений на поверхности горячей расширяющейся и пульсирующей Земли на ранней стадии ее эволюции. Начальная температура вещества Земли около 30000 К при плотности примерно 30 г/см³, а само вещество находилось в газообразном состоянии. В процессе эволюции оно охлаждалось, конденсировалось, формируя внешнее ядро, и кристаллизовалось, наращивая мантию на границе последнего. Земля при этом расширялась. На начальном этапе эволюции температура поверхности Земли понижалась до значений ниже температуры критической точки металлов (6625 °С для золота). Металлы при критической температуре претерпевали так называемые гигантские флуктуации плотности, что позволяло различным металлам (каждый при своей температуре) «сливаться» в огромные «капли» – прообразы месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: модель горячей Земли, физика месторождений полезных ископаемых.

THE HOT EARTH MODEL. A NEW APPROACH TO MINERAL DEPOSITS PHYSICS

V. V. Kuznetsov

The paper discusses the physics of phenomena occurring on the hot expanding and pulsating Earth at the early development stage. The initial temperature of the Earth's matter was $\approx 30\,000\text{K}$ at a density of $\approx 30\text{ g/cm}^3$, and the matter itself was in the gaseous state. During the Earth's evolution the matter chilled, condensed, forming the outer core, and crystallized, accreting mantle at the outer core boundary. At the initial stage of the Earth's evolution the temperature of its surface decreased (from 30 000°C) to the values below the critical point of metals (6625°C for gold). Metals under the critical temperature were subjected to s. c. "giant density fluctuations", which enabled different metals (each under the respective temperature) to "merge" in giant "drops" that were prototypes of mineral deposits.

Keywords: hot Earth model, mineral deposits physics.

Новая модель устройства горячей расширяющейся и пульсирующей Земли [7, 9, 10], естественно, привносит новые аспекты во все разделы наук о Земле. В этой статье речь пойдет о некоторых принципиальных вопросах, имеющих отношение к физике месторождений полезных ископаемых (МПИ). Разрабатывая принципиально новую теорию или модель горячей Земли, всегда следует задаваться вопросом: можно ли в ней найти объяснение широко обсуждаемых проблем геологии. Здесь предпринята попытка решить одну из них.

Геология как наука сформировалась для решения задач поиска МПИ, до сих пор стоящих перед человечеством. Она включает комплекс представлений об устройстве и внутреннем строении Земли, понимание того, каким образом происходило «рождение» планеты, как и по какой причине на ее поверхности возникли МПИ, как можно оценить запасы одного месторождения или всех и т. п.

На рис. 1 видно, что месторождения золота распределены по поверхности материков далеко не равномерно. Видно также, что крупных месторождений сравнительно мало, а чем меньше МПИ, тем их больше.

Величина (объемы, запасы) МПИ (обозначим ее A) обратно пропорциональна их удельному количеству f : $A \sim 1/f^n$. Показатель степени n , как правило, не целое число ($n > 1$). Его называют фрак-

тальной размерностью. Эта зависимость хорошо известна в физике: так называемый фликкер-шум, характерный практически для всех земных явлений; это «закон повторяемости» землетрясений, вспышек на Солнце, вариаций климата и потока космических лучей, инверсий и экскурсов геомагнитного поля и т. д. Первыми эту закономерность выявили еще древние египтяне: они заметили, что небольшие разливы Нила повторяются очень часто, а чем больше разлив, тем реже он бывает. Так впервые было сформулировано правило, которое впоследствии и получило наименование «фликкер-шум». Это так называемый красный шум, который отличается от «белого шума» тем, что в последнем нет зависимости амплитуды от частоты. Принято считать, что фликкер-шум характеризует явления в открытой самоорганизующейся фрактальной структуре, стремящейся минимизировать свою фрактальную размерность.

Приведу один наглядный пример этой связи. Представим, что из самолета десантировался отряд военных парашютистов. Пока все они спускались на парашютах, фрактальная размерность системы была три (трехмерная система). По мере того как часть из них приземлялась, фрактальная поверхность уменьшалась от трех до двух (двумерная система). Затем парашютисты собрались в линию окопов. Размерность системы стала равной

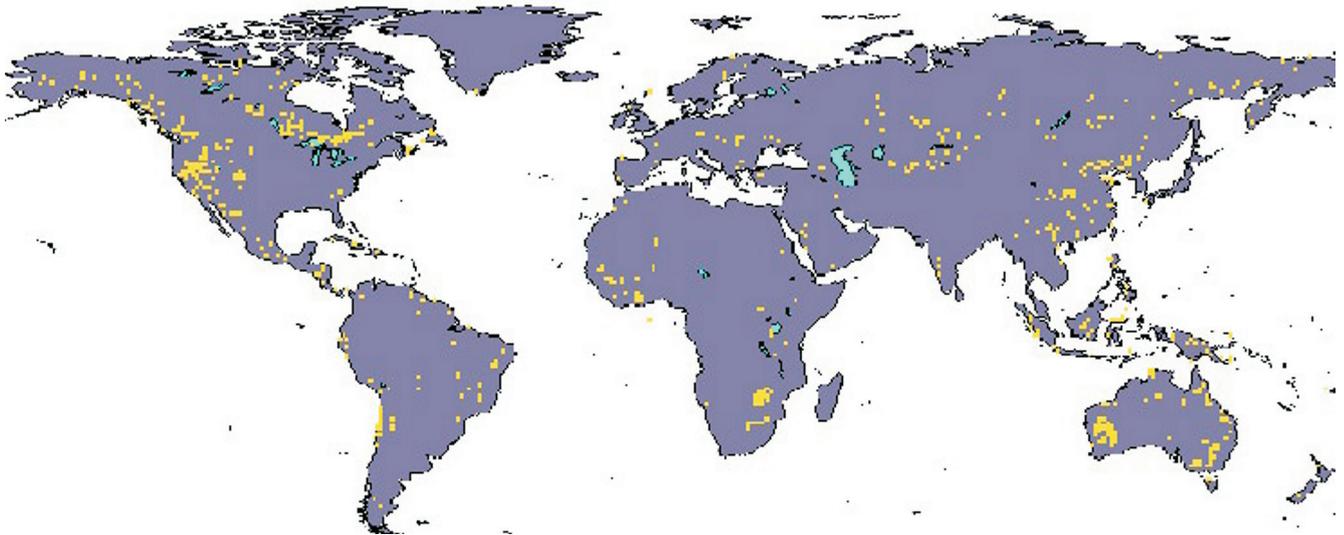


Рис. 1. Распространенность месторождений золота на континентах

единице. Примерно так происходит с любой самоорганизующейся системой.

В чем же состоит суть новых развиваемых нами подходов к физике МПИ? Она непосредственно вытекает из физики горячей расширяющейся Земли и базируется на известных явлениях, происходящих с веществом при очень высоких температурах (порядка температур критических точек). Как известно, при этом меняются термодинамические параметры вещества (теплопроводность, вязкость, теплота фазовых переходов и т. п.). В 1908 г. М. Смолуховский показал, что при критической температуре сжимаемость вещества существенно возрастает, энергия теплового движения его частиц становится достаточной для внезапного сильного увеличения числа микроскопических областей, в которых плотность вещества значительно отклоняется от среднего значения. Возникает флуктуация плотности. Именно на этом эффекте может быть построена физика МПИ металлов.

Как же проблема возникновения МПИ металлов решается учеными различных стран? Практически никак. Нельзя серьезно относиться, например, к идее, высказанной исследователями из Великобритании и Германии, которые, согласно газете «La Repubblica» от 13 сентября 2011 г., полагают, что золото, платина и другие металлы попали на Землю за счет бомбардировки ее космическими объектами. Бомбардировка началась 4 млрд лет назад и длилась около 200 млн лет. В результате наша планета была бы покрыта слоем «позолоты» из драгоценных металлов. По мнению этих ученых, большая часть драгоценных металлов, попавших на Землю, устремилась вместе с расплавленным железом к центру планеты, когда горные породы были еще жидкими и горячими. Они предполагают, что если проникнуть на глубину 3 тыс. км и достичь ядра Земли, то можно достать все золото и платину, которые там хранятся, и покрыть ими всю планету слоем толщиной 4 м. Оставаясь

в рамках такой «научной» гипотезы, можно, к примеру, предположить, что на Горный Алтай свалился огромный ртутный термометр, что привело к образованию Акташского ртутного МПИ.

В отличие от железа или алюминия на Земле очень мало золота. За всю свою историю человечество добыло золота столько, сколько добывает железа за один день. Но откуда же этот металл появился на планете?

Считается, что Солнечная система образовалась из остатков сверхновой, взорвавшейся когда-то в глубокой древности. В недрах той древней звезды синтезировались химические элементы тяжелее водорода и гелия, но не могли синтезироваться элементы тяжелее железа, и, следовательно, золото не могло образоваться в результате термоядерных реакций в звездах. Так откуда оно появилось во Вселенной? Золото не может рождаться в недрах звезд, но оно может образоваться в результате грандиозных космических катастроф.

1. Эволюция параметров Земли в контексте горячей модели

К настоящему времени геологами собраны коллекции образцов, обработка которых показывает, что ранее на Земле состав и плотность атмосферы, температура поверхности были другими, отличались океаны, скорость вращения Земли, ее гравитационное и магнитное поля и т. д. **Все эти характеристики в той или иной степени противоречат модели холодной Земли.** Далее рассмотрим известные факты из истории эволюции Земли в контексте нашей модели.

Температура, давление и плотность вещества в центре Земли

Задача определения термодинамических параметров горячей Земли не допускает широкого разнообразия вариантов. Если масса Земли в про-



цессе эволюции практически не менялась, температура определяется достаточно точно, а внутреннее давление является функцией радиуса Земли и температуры ее вещества; остальные параметры также оцениваются более или менее однозначно. По нашей модели, подробно описанной в [7, 9, 10], начальный радиус Земли был примерно в 2 раза меньше современного. Следовательно, Земля расширялась, и ее объем в течение эволюции увеличился примерно в 8 раз. Начальная плотность вещества Земли была примерно 35 г/см^3 , что в 3 раза больше современной плотности вещества внутреннего ядра ρ_G .

Современное давление в центре Земли оценивается как $p = \rho g R = 3,5 \cdot 10^{12} \text{ дин/см}^2$. По нашей модели, давление в центре Земли в момент ее образования $p_0 = \rho_0 g_0 R_0$, примерно в 10–15 раз выше современного. Воспользуемся оценкой Л. Д. Ландау [11] для величины давления вещества, находящегося в сверхсжатом состоянии, $p \sim \rho^{5/3}$ (примерно $p \sim \rho^2$). Отсюда следует, что плотность внутреннего ядра в течение эволюции Земли должна уменьшаться по мере снижения давления и достигнуть к настоящему времени общепринятых значений. Начальный радиус Земли примерно в 2 раза меньше современного, значит, ее гравитационная энергия должна была быть примерно в 2 раза больше ($g_0 \approx 3,5 g$), чем оцененная нами [7]. (Вряд ли начальная температура вещества Земли T_0 могла быть в 2 раза больше, чем оцененная нами (30000 К). Дело в том, что теплоемкость c_p возрастает с увеличением температуры, а $T \sim 1/c_p$, что приводит к некоторому снижению T_0 .)

Тем не менее, если принять $T_0 \approx 2T$ и учесть зависимость ρ от p ($p \sim \rho^2$), то можно оценить средний молекулярный вес исходного вещества Земли (в начале образования) μ_0 . Так как $T/\mu \approx p/\rho \approx p^{1/2}$, то $T_0/\mu_0 \approx 1$ и $\mu_0 \approx 5$, что согласуется с нашей моделью: вещество Земли на начальном этапе эволюции было более «солнечным», т.е. на один атом железа **было необходимо** 10 атомов водорода, а не 5, как сейчас. Можно выяснить, сколько водорода (M_H) должна была «потерять» Земля за время своей эволюции для того, чтобы μ уменьшилось вдвое. Будем полагать, что для современной Земли $\mu \approx 50$ (не путать с μ_n внутреннего ядра). Массу Земли можно представить как $M = Nm\mu$, где N – полное число атомов (молекул), а массу потерянного Земли водорода как $M_H = 10Nm\mu_n$, где $\mu_n = 1$ – атомный вес водорода, а 10 – число атомов водорода на один атом железа. Отсюда $M_H/M \approx 1/5$, т.е. потери водорода составляют не более 20 % от начальной массы Земли M_0 , что при наших точностях оценок не должно особенно сказываться.

Градиенты температуры и давления dT/dR и dp/dR , согласно нашей модели, в прошлом были заметно выше (первый примерно в 3–4 раза, а второй – в 15–20 раз). Следовательно, тепловой поток $Q \sim dT/dR$ на начальном этапе эволюции Земли

тоже был выше современного. Оценим его величину по известной термодинамической формуле, связывающей энергию и энтропию системы: $dE = TdS - pdV$. Предположим, что изменение T в области фазового перехода составляет 10000 К, а энтропии dS – около 1 Дж/К. Обычно $TdS \approx U$, где U – теплота фазового перехода (конденсации), $U = 10$ – 15 кДж/г . Величина теплового потока в этом случае $Q = TdSM/t_0$. Здесь $t_0 = 4,5 \cdot 10^9$ лет – время эволюции Земли, и $Q = 10^{29} \text{ эрг/год}$, что примерно на порядок больше современного. Учитывая, что раньше тепловой поток был больше современного, эта оценка не должна вызывать особых сомнений.

Обратим внимание на такую деталь. Вначале мы предположили, что вещество внутреннего ядра, возможно, сохранилось до наших дней в том виде, в каком оно было при образовании Земли. В результате развития модели мы приходим к заключению, что это предположение не совсем точно. Оказывается, что в течение эволюции Земли состояние термодинамического равновесия, вокруг которого (по модели) могут совершаться циклические колебания, постоянно смещалось в сторону уменьшения температуры и давления. Это говорит в пользу циклического характера эволюции Земли, так как линейная термодинамика необратимых процессов показывает, что значения термодинамических параметров не могут колебаться относительно равновесного состояния. Последнее означает, что только в такой (или подобной) модели могут иметь место циклы, привлекающие пристальное внимание геологов.

Эволюция РТ-параметров на поверхности Земли

Принято считать, что экзогенные процессы на Земле в основном обусловлены энергией солнечной радиации, силой тяжести, деятельностью ветра, воды и ледников. Заметную роль играет и внутренняя, эндогенная энергия Земли, из-за влияния которой происходят землетрясения, извергаются вулканы, поднимается и опускается уровень океанов и т. п.

Наиболее важная характеристика климатического процесса – температура и ход ее изменения. Поэтому несомненный интерес вызывает зависимость температуры поверхности Земли от времени эволюции. Несмотря на то что многие геологи, так же как Дж. Ферхуген и др., считают, что «...мы еще очень далеки от действительного понимания термальной истории Земли» [5, с. 739], такая зависимость для Земли известна. Она построена многими авторами по изотопным соотношениям (кислорода $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ и водорода $^1\text{H}/\text{D}$) и восстановленному палеотемпературному градиенту. У некоторых авторов (см., например, [20]) имеются небольшие расхождения в значениях температур для одних и тех же периодов эволюции Земли, но общий характер остается примерно одинаковым. Есть основания считать, что температура на поверхности



Земли примерно 3,8 млрд лет назад приближалась к 100 °С (океаны кипели!). Можно восстановить [10] эту зависимость и для ранней Земли, ко времени 4,5 млрд лет назад – 300 °С и более. Это, однако, не самая высокая оценка температуры поверхности ранней Земли. По Р. Геррелсу и Ф. Макензи, «...температура на поверхности ранней Земли достигала 600 °С, а давление превышало 360 атмосфер, из которых на долю воды приходилось 300, углекислоты – 45, соляной кислоты – 10 атм» [10, с. 79]. Различные авторы высказывали идею, согласно которой древняя атмосфера Земли соответствовала атмосфере современной Венеры.

Таблица 1

РТ-условия на поверхности Земли для различных периодов [16]

Период	Возраст, млрд лет	Температура поверхности, °С	Атмосферное давление	Состав атмосферы
Катархей	3,75–3,5	100	20	H ₂ , CO ₂ , H ₂ O
Палеопротерозой	3,5–2,6	70	10–20	H ₂ , CO ₂ , H ₂ O
Мезопротерозой	2,6–1,9	60	–	H ₂ O, 1 % O ₂
Неопротерозой	1,9–1,0	50	–	Увеличение O ₂
Эпипротерозой	1,0–0,65	40	–	«
Эокембрий	0,65–0,57	35	–	«
Настоящее время	0	15	1	21 % O ₂

Наиболее полно данные по РТ-условиям на поверхности ранней Земли (в докембрии) представлены в монографии [16]. Из табл. 1 следует, что температура поверхности Земли и ее атмосферное давление плавно понижались в течение всего периода эволюции. Менялся химический состав атмосферы: **исчез** водород, упала концентрация воды, выросло содержание кислорода и т. п.

2. Модель образования месторождений металлов при охлаждении горячей Земли за счет гигантских флуктуаций плотности при достижении критических температур

Природа создала на Земле уникальные МПИ, в частности металлов. Как относится к природе этих явлений физика Земли? По модели холодной Земли планета образуется путем медленного постепенного «слипания» мельчайших частиц космической пыли. С этих позиций невозможно объяснить, почему в некоторых регионах Земли скопилось большое количество вещества одного химического состава и практически нет других веществ, в которые, свою очередь, образовались и накопились в другом месте. Этот вопрос как-то выпал из области интересов геологов, хотя и они считают,

что любое месторождение полезных ископаемых представляет собой исключительное природное явление, а задача геолога сводится к определению геологических и физико-химических условий, приведших к локальной концентрации минерального сырья на фоне его регионального рассеяния.

Известно, что флуктуации объема, плотности и концентрации становятся очень большими при приближении к критической точке данного вещества. Это явление носит название фазового перехода второго рода (ФП-2) – **«критическая точка равновесия жидкость – пар»**. В частности, наличие в системе ФП-2 объясняет очень сильное рассеяние света веществом, находящимся в состоянии, близком к критическому, – так называемую критическую опалесценцию. Для нашей модели это означает, что если образование месторождений имеет флуктуационный характер, то они могли бы возникнуть только при температуре вещества земной коры, приближающейся к критической – тысячи градусов. Например, критические температуры $T_{кр}$ и давления $P_{кр}$ для Pb = 5395 К, 1065 бар; Al = 5445 К, 1920 бар; Cu = 7010 К, 3545 бар и т. д. (рис. 2).

Связь между флуктуациями в объеме жидкости при критической температуре обуславливается силами межмолекулярного взаимодействия, однако она может действовать на расстояниях, значительно превышающих радиус взаимодействия. Это может происходить потому, что сжимаемость вещества вблизи критической точки очень велика и уже малые силы могут вызывать значительные изменения как плотности вещества, так и концентрации входящих в него элементов.

При остывании Протоземли, представляющей собой нагретый до температуры 30000 К газовый шар, температура вещества верхнего слоя, охлаждаемого излучением, последовательно проходит критические температуры металлов. При достижении критической температуры вещество резко изменяет свои термодинамические свойства, в частности, резко падает величина поверхностного натяжения, и за счет термофлуктуаций вещество при критической температуре способно собираться в огромные скопления – прообразы будущих месторождений. Если у химических элементов критические температуры близки, то указанные образования могут включать эти элементы (см. схему на рис. 2). Так, критические температуры химических элементов составляют (К): Ag 6300, Al 5445, Au 6625, Cu 7010, Ni 5640, Pb 5395, Pd 5820, Fe 6686, Sm 5036, Sr 5034, Li 3210, Na 2480, K 2230.

Возможный механизм расслоения

Физику расслоения растворов можно рассмотреть в качестве примера **физического механизма**, приводящего к образованию вещества с повышенной концентрацией некоторых элементов. Допустим, что исследуемое вещество представляет со-

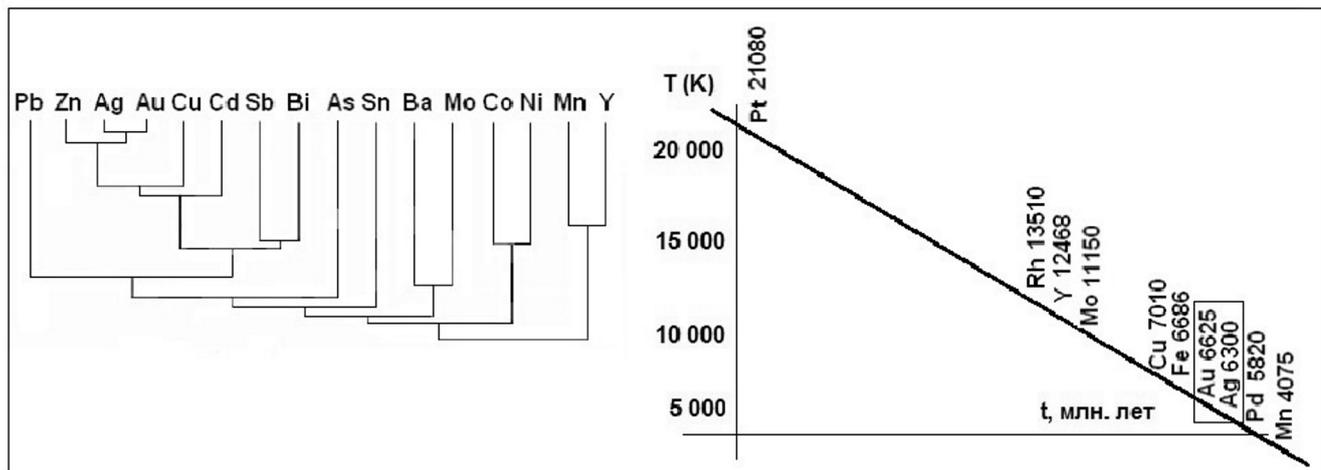


Рис. 2. Группы химических элементов – «соседей» по месторождениям и критические температуры металлов

бой раствор полезных элементов в матрице. Нас будут интересовать условия, при которых полезные элементы не смешиваются с матрицей. Оказывается, что при заданном давлении в ряде случаев имеются две температуры, выше одной (T_1) и ниже другой (T_2) раствор смешивается. В интервале температур $T_2 < T < T_1$ часть раствора расслаивается. Температура T_1 близка к критической температуре смешения веществ (в физике растворов она называется верхней критической температурой смешения). Возможно, что вблизи нее (как и при критической температуре индивидуального вещества, где $dp/dv = 0$) в смеси веществ самопроизвольно возникают волны сжатия и разрежения, вещество распадается на **жидкость** и **пар**. В некоторых растворах возникает и нижняя температура смешения T_2 . Ее появление вызвано ослаблением притяжения молекул (атомов) растворенного вещества вследствие «экранирующего» воздействия растворителя при понижении температуры [2].

Рассмотрим задачу, в которой флуктуация концентрации меняется в пространстве. Задача сводится к оценке вероятности распределения флуктуаций в пространстве или к вопросу о вероятности того или иного вида функции, дающей зависимость рассматриваемой величины от координат. Теория флуктуаций, как правило, имеет дело со статистически независимыми флуктуациями. Однако в нашей задаче имеется несомненная взаимная зависимость функций (в нашем примере это локальные месторождения, объединенные в общую геологическую структуру).

3. Проблема гранитов и базальтов

Постановка задачи. Граниты¹ по-своему уникальны и даже загадочны. **Они обнаружены только на Земле, возможно, они есть на Венере. Если земные базальты ничем не отличаются от**

¹Мы используем обобщенные понятия «граниты» и «базальты», имея в виду не столько их минералогические различия, сколько различия в их химическом составе.

лунных, то граниты в этом смысле неповторимы. Аппаратурой, установленной на автоматической станции «Венера-8», зарегистрировано повышенное содержание калия, урана и тория, характерное для гранитов; остальные аналогичные станции также определяли наличие этих элементов, но уже в концентрациях, более близких к базальтам [6].

Изучая сходство и различия тектономагматического развития Земли и Луны, авторы [19] показали, что главная особенность Луны – это ее близость к палеопротерозойской (кратонной) стадии развития Земли. На Луне отсутствуют гранитоиды. Древнейший (4,45–4,25 млрд лет) магматизм материков Луны близок к земной палеопротерозойской стадии. Вторая стадия развития Луны (3,8–3,2 млрд лет назад) характеризуется генерацией морских базальтов, аналогичных базальтам срединно-океанических хребтов Земли. Различия в эволюции обеих планет авторы связывают с «различными энергетическими возможностями этих планетных тел» [19, с. 415]. Американский геолог-астронавт Р. Шмитт заметил: «Луна – это запыленное окно в прошлое Земли».

Граниты встречаются исключительно на континентах. Обнаруженные в Тихом океане небольшие их «островки» были, по всей видимости, оторваны от материков и «транспортированы» при спрединге и разрастании океанов. Уникально соотношение химических элементов в граните. Если в базальте процентный состав породообразующих элементов повторяет составы хондритов и тяжелых элементов в атмосфере Солнца, то граниты заметно обеднены тяжелыми элементами (железом и магнием), но, с другой стороны, в них значительно больше радиоактивных элементов (урана, тория и калия).

Проблема «базальт – гранит» давно занимает геологов. Принято считать, что образование гранитов связано с направленным метаморфизмом, в результате действия которого произошло вымывание «лишних» и привнесение «дополнительных» химических элементов. В результате из



первоначальной базальтовой оболочки получилась гранитная кора. Заметная роль в этом процессе отводится воде, магматическим процессам и «продувке» коры флюидами. Возможно, эта модель верна. Но как могли образоваться граниты на Венере, где воды не было? Почему их нет на Луне, где имели место магматические процессы? Почему в настоящее время, когда на Земле много и базальтов, и воды, нет следов современной гранитизации? Вопросов можно задать еще много, и на все есть ответы, базирующиеся на модели холодной Земли, однако связать их в правдоподобную концепцию не удастся. Мы не будем критиковать эту модель, но будем искать ответы, а они естественным образом следуют из модели горячей Земли.

Можно ли получить гранитизацию первичного вещества базальтового состава на раннем этапе эволюции Земли?

Гипотеза гранитизации

Воспользуемся известными данными по составу базальтов и гранитов (табл. 2). Приведем относительные концентрации атомов в составе Солнца (за единицу принята **концентрация** водорода $N = 10^{12}$ частиц): H 12,0, He 11,7, C 8,72, O 8,96, Na 6,3, Mg 7,4, Al 6,2, Si 7,5, S 7,3, K 4,7, Ca 6,1, Fe 6,6. В табл. 2 приведены осредненные данные по химическому и элементному составу гранитов и базальтов.

На рис. 3 показано, каким образом, взяв две части вещества с химическим составом, эквивалентным базальту, и «отняв» от **этого** вещества некоторую часть элементов определенной концентрации, можно получить другое вещество, по составу эквивалентное граниту. (Их химические составы нормированы таким образом, чтобы количество кремния было одинаковым.) Если в процессе образования гранитной коры в нашей модели будут найдены механизмы, позволяющие обеспечить потерю этих элементов, проблема преоб-

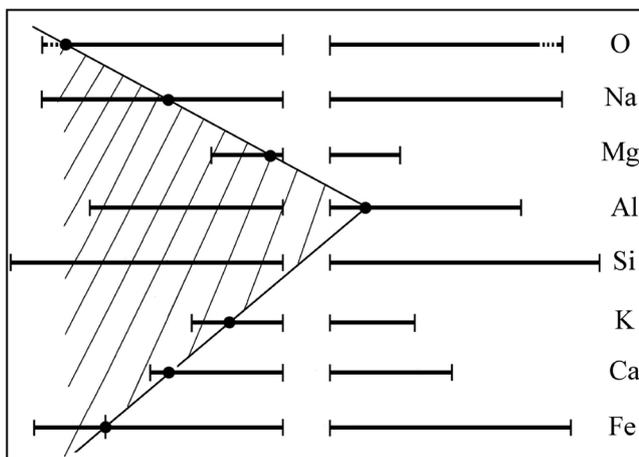


Рис. 3. Диаграмма гранитизации: получение гранита (заштрихованная часть) из двух исходных частей базальта

Таблица 2

Осредненные данные по химическому и элементному составу гранитов и базальтов (%)

Состав	Базальт	Гранит
химический		
SiO ₂	48,0	73,0
TiO ₂	3,0	0,5
Al ₂ O ₃	12,0	13,0
Fe ₂ O ₃	2,0	1,3
FeO	8,0	1,6
MnO	0,1	0,04
MgO	14,0	0,6
CaO	10,0	2,2
Na ₂ O	2,0	3,6
K ₂ O	0,3	3,7
элементный		
Si	18	33
Al	6,1	8,6
Fe	8,0	2,5
Mg	16	0,5
Ca	3,5	1,2
Na	1,5	2,5
K	0,25	3,55

разования базальта в гранит (т.е. гранитизация базальта) может оказаться близкой к решению. Естественно, эта задача решается в соответствии с моделью горячей Земли на той ее стадии, когда все вещество планеты, включая ее самые верхние слои, было очень горячим. Система была открытой для того, чтобы химические элементы и их соединения, обладающие наибольшей летучестью, были способны покинуть Землю, т.е. диссипировать. Только Земля и Венера были, с одной стороны, как следует из все той же модели, достаточно «разогреты» для осуществления данного процесса, а, с другой – слишком малы, чтобы их гравитационное поле удержало летучие элементы и их соединения. На таких планетах, как Марс и Меркурий вещество на поверхности планет никогда не нагревалось выше температуры плавления, поэтому рассматриваемых явлений там происходить не могло. Следовательно, по нашей модели, гранитов на этих планетах не может быть.

После остановки процесса формирования планеты (окончания гравитационного коллапса, самогравитации) началось охлаждение сначала ее поверхности, а потом и внутренних оболочек. Первое возможно только за счет передачи тепла через излучение. При так называемом радиационном охлаждении происходит диффузия излучения через «оптически толстое тело», т.е. через плотную атмосферу, окружавшую Землю на самой ранней стадии ее формирования.

Ранняя стадия этого процесса была рассмотрена в книге [7]. Температура T_1 отличалась от начальной T_0 : $T_1 = T_0 (1 - \alpha_0 T_0^3)$, где α_0 – функция,



зависящая от толщины слоя, через который идет диффузия излучения, времени охлаждения t , химического состава атмосферы, ее плотности и т. д. Оцененная нами в [7] величина α_0 для $T_0 = 10^3$ К и ниже и периода охлаждения t_0 была порядка 10^9 лет, $\alpha_0 = 10^{-9}$ К⁻³.

В интересующем нас сейчас случае $T_0 = 10^4$ К, а $T_1 = 10^3$ К, коэффициент $\alpha_1 \approx 10^{-12}$ К⁻³. Если считать, что и давление и химический состав атмосферы те же, что и в рассмотренном нами ранее случае, то время охлаждения t_1 можно оценить из пропорции: $\alpha_0/\alpha_1 = t_0/t_1$, и t_1 оказывается порядка 10^6 лет, хотя мы можем определить ее с точностью до порядка: $10^5 < t_1 < 10^7$ лет.

Зная эту величину и температуропроводность вещества, можно оценить толщину обменного слоя, в котором происходят процессы охлаждения, массопереноса, т. е. в котором возможны процессы разделения химического состава вещества Земли. Пусть коэффициент температуропроводности $\zeta \sim 1$ см²/с и толщина обменного слоя $\delta \approx (\zeta t_1)^{1/2} = 60$ км. (Оценка δ сделана с учетом известной барометрической формулы, хотя она справедлива только для современной атмосферы, тем не менее, упрощая барометрическую формулу и подставляя $T = 10^4$ К и $\lg(p_1/p_2) \approx 5$ в $p_2 = p_1 \exp[-Mg\delta/RT]$, где p_2 и p_1 – значения давлений на границах слоя, M – молярная масса газа, R – универсальная газовая постоянная, получаем значение δ того же порядка – 50 км.)

Будем считать, что в процессе гравитационного сжатия и формирования Земли как планеты она представляла собой шар из горячего переуплотненного ($\rho \approx 35$ г/см³) вещества, окруженный достаточно плотной газовой оболочкой толщиной около 50 км. Температура внешней части оболочки составляла примерно 10^3 К, внутренней – 10^4 К, плотность менялась от 0 до 35 г/см³ соответственно. Эта оболочка, с одной стороны, экранировала пересжатое и переуплотненное вещество Земли от тепло- и массообмена с окружающим космическим пространством, и с другой – сама являлась открытой системой, в которой происходил такой обмен. Вещество оболочки охлаждалось, конденсировалось и кристаллизовалось и в конечном счете, по нашей модели, превратилось в гранитную кору, покрывающую все материки.

Концентрация более тяжелых элементов на внутренней границе оболочки, естественно, была выше, чем на поверхности, т. е. на внешней границе, что обеспечило действие механизма газовой концентрационной диффузии. Тепловой поток был направлен в сторону градиента концентрации, что способствовало возможности проявления механизма термодиффузии, когда тяжелые и большие по размерам атомы (молекулы) выносились в более холодную часть – к поверхности оболочки, откуда они могли быть потеряны за счет диссипации в космос. Все эти механизмы протекали на фоне

тепловой конвекции, которая еще больше усиливала эффективность.

Концентрационная диффузия определяла перенос частиц (атомов, молекул) от границы слоя к поверхности в соответствии с начальными концентрациями и различием в тепловых скоростях вследствие различия в атомных весах элементов. Термодиффузия обеспечивала преимущественный перенос больших по размеру и более тяжелых частиц. Оба этих в принципе возможных механизма протекали в водородной среде, причем термодиффузионное разделение эффективнее, когда концентрации легких частиц (водорода) и тяжелых (железо, кремний, магний и т. п.) становятся более или менее соизмеримы. Поэтому термодиффузия стала значимой, когда Земля уже потеряла значительную долю водорода, а температура ее вещества еще превышала критическую.

В отличие от концентрационной диффузии, скорость которой определяется величиной D_{12} , термическая диффузия характеризуется коэффициентом D_T и термодиффузионным отношением $k_T = D_T/D_{12}$. В свою очередь, величина k_T зависит от концентрации частиц n и термодиффузионной постоянной β : $k_T = \beta n_{10} n_{20}$, где n_1 и n_2 – относительные концентрации частиц первого: $n_{10} = n_1/(n_1 + n_2)$ и второго: $n_{20} = n_2/(n_1 + n_2)$ сорта. Перенос более тяжелых и больших по размеру частиц в более «холодную» область оболочки определяется формулой Грю и Иббса [4] $dn/dr = -k_T/T dT/dr$.

Из приведенных формул следует, что для одинаковых температурных условий и одинаковой начальной концентрации тяжелых частиц различного веса и размера эффект их термодиффузионного разделения определяется коэффициентом β , который индивидуален для каждого вещества [4].

Как уже отмечалось, диффузионные процессы термического разделения происходят при определенных условиях: вещество находится в газообразном состоянии, имеется различие между частицами по массе и размеру, существует температурный градиент. По нашим оценкам, такие условия могли иметь место на Земле на самой ранней стадии ее формирования. Принципиально то, что такие явления на Земле происходили одновременно со стадией формирования Солнца. По мере остывания оболочки обменного слоя Земли в нем начинали образовываться химические соединения. Так как процессы синтеза осуществлялись в водородной среде, возникали преимущественно гидриды. Далее, по мере истощения содержания водорода в обменном слое определенное значение в синтезе летучих соединений начинали приобретать кислород и углерод (точнее, радикалы СО).

Идея транспортировки химических элементов, в частности металлов, из глубин Земли с помощью присоединения к ним (или химической связи) летучих лигандов не нова. Такую модель развивал в ИГиГ СО РАН Р. М. Слободской [18]; фундамен-



тальными исследованиями в этой области занимались в Институте геологии рудных месторождений группы М. И. Новгородовой [12, 13] и Е. Ю. Буслаевой [1]; группой сотрудников ИГиГ и Института вулканологии (Камчатка) проведен эксперимент по регистрации карбониллов железа в кальдере вулкана Узон на Камчатке [14]. Образование на Земле элементоорганических соединений с металлами и маталлоидами бесспорно. Например, сравнительно недавно был обнаружен самородный магний [13], несколько ранее – алюминий. Принято считать, что эти металлы транспортируются из недр планеты с помощью органических соединений. В принципе, подобные явления вполне могли происходить на Земле и на более ранних этапах ее эволюции. Для того чтобы транспортировка элементов с помощью летучих лигандов могла происходить в нашей модели гранитизации, необходимо лишь «обеспечить» необходимые для синтеза РТ-условия.

Остановимся на интересном событии – обнаружении самородного магния [13]. По данным масс-спектрометрического анализа в газовой фазе, выделенной из образца самородного магния, содержатся (об. %) водород 89,9, метан 0,6, закись углерода 0,3, углекислый газ 1,4, кроме того, присутствует рассеянный тонкодисперсный углерод (8,1 %), обогащенный легкими изотопами. Автор сообщения считает, что магний мигрировал в потоке флюидов углеводороды – водород.

Приведенный пример, конечно, нельзя напрямую использовать для объяснения возможного пути транспортировки магния и железа в процессе реальной гранитизации исходного базальта. Тем не менее данный случай демонстрирует принципиальные возможности процессов избирательной транспортировки элементов на Земле. Кроме того, это возможно, например, и при образовании летучих гидридов. Правда, не все элементы образуют гидриды, в частности железо, транспортером которого могла быть карбонильная группа, а алюминия – алкильная или этильная и т. п.

Обратим внимание на деталь, имеющую принципиальное значение в нашей модели. Обнаружено обогащение углерода, сопутствующего самородному магнию, легкими изотопами, что можно интерпретировать следующим образом. Предположим, что наша модель гранитизации реальна. Тогда из нее следует, что часть протокрытой представляла собой открытую систему, а изотопный состав ее элементов мог измениться и с большой вероятностью изменился по сравнению с составом той части вещества, которая находилась в состоянии закрытой системы. Необходимо акцентировать внимание на известном экспериментальном факте: более легкие изотопы испаряются быстрее, чем более тяжелые. В такой открытой системе, как гранитная протокрыта на определенном этапе эволюции Земли должны были существовать большие температурные градиенты. Это не могло не приве-

сти к термодиффузионному разделению не только элементов (что мы отмечали выше), но и их изотопов. В работе [8] показано, что увеличение температурного градиента в геохимической системе приводит к утяжелению соотношения изотопов ртути. Согласно нашей модели, вещество мантии Земли, не подвергшейся дифференциации, должно быть обогащено легкими изотопами, а состав ее вещества (соответствующий базальтам) должен быть идентичен и солнечному веществу. В этом случае, возвращаясь к обсуждению находки самородного магния, и сопутствующий ему изотопно облегченный углерод должен быть мантийного происхождения. Следуя изложенной модели гранитизации, магний, входящий в состав вещества открытой системы, вообще должен был быть потерян на самом раннем этапе эволюции Земли.

В качестве поддержки нашей модели о разделении изотопов ртути сошлемся на работу Э. М. Галимова [3] по результатам измерения соотношения изотопов кислорода $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в осадочной оболочке Земли. В работе показано, что в течение различных этапов эволюции Земли, связанных с повышением температурного градиента, наблюдалось увеличение относительной концентрации ^{18}O . Сравнивая соотношение $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ для океанической воды и осадочной оболочки, автор приходит к нетривиальному выводу, имеющему важное значение для нашей модели и подтверждающему ее правомерность: «Океан образовался отнюдь не сразу после завершения формирования Земли. Первые полмиллиарда лет водяная оболочка на Земле была не развита, если существовала вообще» [3, с. 981], а согласно нашей модели, земная оболочка могла остыть до температуры примерно $100\text{ }^\circ\text{C}$ около 3,8 млрд лет назад.

Можно сделать оценку, аналогичную той, которую мы делали для термодиффузионного разделения элементов, и показать, что «остаток» элементов нашего вещества (см. рис. 3) может быть «вынесен» и удален с помощью элементоорганических транспортеров. Можно, например, рассчитать коэффициент γ , показывающий отношение давления пара летучего вещества (при заданной температуре) к давлению газа на границе обменного слоя, а дальше аналогично оценить величину $n_2 = \gamma n_0$ и т. п. Зная ход температурных зависимостей, к примеру, карбонила железа и триэтилалюминия, можно показать, что железо будет убывать из нашего «остатка» с большей скоростью, чем алюминий и т. п. Однако, как и в случае с термодиффузией, подобные оценки носят исключительно качественный характер. Они приводятся нами только для иллюстрации принципиальной возможности и, следовательно, правомерности нашей модели гранитизации. По мере дальнейшего охлаждения газообразного вещества обменного слоя в нем начинаются процессы конденсации, а затем и кристаллизации.



Конденсация и кристаллизация вещества обменного слоя

Процессы конденсации первичного земного вещества рассматривались многими авторами гипотез аккреции планет из солнечной туманности. Обычно у авторов имелись две возможности: выбрать либо гомогенную аккрецию из равномерно перемешанной смеси веществ, либо гетерогенную, когда сначала образуется ядро из железа, а потом мантия из силикатов. В зависимости от выбора возникали те или иные проблемы, связанные с образованием ядра, природой границы между ядром и мантией, обособлением внутреннего ядра и т. п. Проблемы, связанные с конденсацией, мало зависели от выбора модели. Общепринято, что первоначальное вещество конденсировалось в том виде и составе, в котором оно находится и в наше время. Так, например, А. Е. Рингвуд [15], приводя данные по температурной зависимости конденсации элементов из газа солнечного состава, принимает во внимание либо простые вещества – химические элементы (Al, Ti, Ca, Si и т. п.), либо их окислы. Н. П. Семенов [17] предполагает, что в кислородно-водородной модели Земли поначалу окисленные породы земной коры были потом восстановлены водородом из ядра Земли.

В отличие от предыдущих моделей наша предполагает, что процессы конденсации происходили в водородной среде и поэтому образовывались преимущественно гидриды, которые на более поздних этапах эволюции Земли окислялись при кислородной «продувке». Вещество при этом находилось в конденсированном расплавленном состоянии. Наша задача состоит в том, чтобы найти физически непротиворечивые механизмы гранитизации вещества изначально базальтового состава, во-первых, и, во-вторых, объяснить его повышенным содержанием радиоактивных элементов.

При обсуждении проблем МПИ я касался только тех следствий, которые напрямую вытекают из модели горячей Земли. В общепринятой холодной модели Земли их принципиально быть не может. Наша модель основана на том, что вещество Земли состоит из солнечного вещества, включая огромное количество водорода, сосредоточенного во внутреннем ядре планеты, и в момент образования Солнечной системы оно было нагрето до очень высокой температуры. В момент образования большие планеты светились, как звезды, так как их поверхностная температура была больше, чем современное Солнце. Правда, продолжалось это свечение очень недолго, и модель позволяет оценить время свечения. Так же как в холодной модели, базальт – исходное твердое вещество на малых планетах и их спутниках Солнечной системы. Однако на Земле и Венере встречаются граниты, а на Луне – нет, но базальты на Луне аналогичны земным. Модель горячей Земли сразу наталкива-

ет на такую мысль: не могли ли базальты земной коры, нагретшись до высокой температуры, потерять при испарении летучие компоненты, наличие которых отличает граниты от базальтов.

Цель нашей работы состояла в том, чтобы найти новые подходы к физике образования МПИ, которые следуют из модели горячей Земли. Проблема генезиса гранитов возникла исключительно из-за того, что, согласно нашей модели, объединение металлов в месторождения может быть связано с флуктуациями плотности при критических температурах. Такие флуктуации хорошо изучены, и сам механизм очевиден. Использование его в задаче образования МПИ, насколько известно автору, никогда не рассматривалось. Допускаю, что детальное исследование этой идеи может оказаться полезной геологам. Похоже, на поставленный мной вопрос: почему происходит концентрация металлов и формирование МПИ окончательного ответа нет. Хотелось бы надеяться, что высказанная здесь идея получит дальнейшее развитие.

Выводы

Развивая модель горячей расширяющейся Земли, я был убежден в том, что если модель «правильная», то она обязана находить естественные решения любых проблем физики Земли. Модель должна находить объяснение каждому достоверному факту из истории Земли и, конечно, обязана предсказывать возможность подобных явлений в будущем, причем применительно не только к Земле, но и к другим планетам и их спутникам.

Необходимо решить принципиальный вопрос: что представляет собой источник внутренней энергии Земли. Такой источник обеспечивает геодинамику (дрейф материков, сейсмичность, вулканизм и пр.), генерацию магнитного поля, определяет причину теплового потока и т. д. Особо важен вопрос, как происходит генерация геомагнитного поля, почему поле меняет полярность, почему движутся магнитные полюса, почему суперхроны происходят одновременно с суперплюмами? Кроме того, одной из принципиальных является проблема образования МПИ.

Настоящая статья – попытка решить эту проблему. Приведены модели образования месторождений полезных ископаемых как результат естественных процессов, следующих из модели, которые могли бы происходить в земной коре на начальном этапе эволюции Земли, когда температура поверхности достигала нескольких тысяч градусов. При такой температуре (выше критической точки), когда вещество приобретает принципиально новые необычные свойства («нулевые» вязкость, поверхностного натяжения и теплоту фазового перехода и т. п.), оно оказывается способным к гигантским флуктуациям плотности. Это возможно, и приводит к локальному повышению концентрации веществ, иначе говоря, к образованию МПИ.



Принципиальный момент модели – то, что вещество планет и спутников имеет солнечный состав. Отсюда очевиден вывод, что в недрах планет существует огромное количество водорода.

Большие планеты (Земля и Венера) нагревались в момент образования до очень высоких температур, при которых вещество находилось в газообразном состоянии. Испарение некоторых химических элементов с поверхности планет преобразовывало исходный базальт в гранит. На Луне, Марсе и других малых планетах и спутниках вещество до таких высоких температур не нагревалось. На них нет гранитов, есть только базальты, практически такие же, как на Земле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Буслаева, Е. Ю.** Элементоорганические соединения в проблеме миграции рудного вещества [Текст] / Е. Ю. Буслаева, М. И. Новгородова. – М.: Наука, 1990. – 151 с.
2. **Введеннов, А. А.** Физика растворов [Текст] / А. А. Введеннов. – М.: Наука, 1984. – 110 с.
3. **Галимов, Э. М.** О возникновении и эволюции океана по данным об изменениях $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ осадочной оболочки Земли в ходе геологического времени [Текст] / Э. М. Галимов // Докл. АН СССР. – 1988. – Т. 299, № 4. – С. 977–981.
4. **Грю, К. Э.** Термическая диффузия в газах [Текст] / К. Э. Грю, Т. Л. Иббс. – М.: ГИТТЛ, 1956. – 183 с.
5. **Земля: введение в общую геологию.** Ч. 2 [Текст] / Дж. Ферхуген, Ф. Тернер, Л. Вейс [и др.]. – М.: Мир, 1974. – 845 с.
6. **Ксанфомалити, Л. В.** Планета Венера [Текст] / Л. В. Ксанфомалити. – М.: Наука, 1985. – 375 с.
7. **Кузнецов, В. В.** Введение в физику горячей Земли [Текст] / В. В. Кузнецов. – Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2008. – 366 с.
8. **Кузнецов, В. В.** Возможный механизм природного фракционирования изотопов ртути [Текст] / В. В. Кузнецов, А. А. Оболенский // Докл. АН СССР. – 1980. – Т. 252, № 2. – С. 459–460.
9. **Кузнецов, В. В.** Модель горячей расширяющейся Земли и планет [Текст] / В. В. Кузнецов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 3(19). – С. 89–98.
10. **Кузнецов, В. В.** Физика Земли и Солнечной системы [Текст] / В. В. Кузнецов. – Новосибирск: ИГиГ СО РАН, 1990. – 216 с.
11. **Ландау, Л. Д.** Статистическая физика [Текст] / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М.: Наука, 1964. – 567 с.
12. **Новгородова, М. И.** Самородные металлы в гидротермальных рудах [Текст] / М. И. Новгородова. – М.: Наука, 1983. – 286 с.
13. **Новгородова, М. И.** Обнаружен самородный магний? [Текст] / М. И. Новгородова // Природа. – 1991. – № 1. – С. 32–33.

14. **Рингвуд, А. Е.** Происхождение Земли и Луны [Текст] / А. Е. Рингвуд. – М.: Недра, 1982. – 293 с.

15. **Пентакарбонил** железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$ в газогидротермах вулкана Узон (Камчатка) [Текст] / М. Н. Балдин, А. Л. Павлов, В. В. Кузнецов [и др.] // Докл. АН СССР. – 1983. – Т. 269, № 2. – С. 458–460.

16. **Салоп, Л. И.** Геологическое развитие Земли в докембрии [Текст] / Л. И. Салоп. – Л.: Недра, 1982. – 460 с.

17. **Семененко, Н. П.** Кислородно-водородная модель Земли [Текст] / Н. П. Семененко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 247 с.

18. **Слободской, Р. М.** Элементоорганические соединения в магматогенных и рудообразующих процессах [Текст] / Р. М. Слободской. – Новосибирск: Наука, 1981. – 135 с.

19. **Шарков, Е. В.** Сходство и различия тектономагматического развития Земли и Луны: современный взгляд [Текст] / Е. В. Шарков, О. А. Богатиков // Астрономический вестник. – 1999. – Т. 33, № 5. – С. 415–429.

20. **Шульдинер, В. И.** Свидетели ранней истории Земли [Текст] / В. И. Шульдинер // Природа. – 1985. – № 4. – С. 72–79.

REFERENCES

1. Buslaeva E.Yu., Novgorodova M.I. *Elementoorganicheskie soedineniya v probleme migratsii rudnogo veshchestva* [Elemental-organic compounds in migration of ore matter]. Moscow, Nauka Publ., 1990. 151 p. (In Russ.).
2. Vvedenov A.A. *Fizika rastvorov* [Physics of solutions]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 110 p. (In Russ.).
3. Galimov E.M. [Origin and evolution of the ocean from data on changes in $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ of the sedimentary shell of the Earth during geological time]. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 1988, vol. 299, no. 4, pp. 977–981. (In Russ.).
4. Grue K.E., Ibbs T. L. *Termicheskaya diffuziya v gazakh* [Thermal diffusion in gases]. Moscow, GITTL publ., 1956. 183 p. (In Russ.).
5. Ferkhugen Dzh., Terner F., Veys L., et al. *Zemlya: vvedenie v obshchuyu geologiyu* [The Earth: Introduction to general geology]. Pt 2. Moscow, Mir Publ., 1974. 845 p. (In Russ.).
6. Ksanfomaliti L.V. *Planeta Venera* [Planet Venus]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 375 p. (In Russ.).
7. Kuznetsov, V.V. *Vvedenie v fiziku goryachey Zemli* [Introduction to the physics of the hot Earth]. Petropavlovsk-Kamchatski, KamGU Publ., 2008. 366 p. (In Russ.).
8. Kuznetsov V.V., Obolenskiy A.A. [Probable mechanism of natural fractioning of mercury isotopes]. *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, 1980, vol. 52, no. 2, pp. 459–460. (In Russ.).
9. Kuznetsov V.V. The model of the hot extending Earth and planets. *Geologiya i mineral'nye resursy Si-*



biri – Geology and Mineral Resources of Siberia, 2014, no 3(19), pp. 89–98. (In Russ.).

10. Kuznetsov V.V. *Fizika Zemli i Solnechnoy sistemy* [Physics of the Earth and the Solar system]. Novosibirsk, IGI G Publ., 1990. 216 p. (In Russ.).

11. Landau L.D., Lifshits E.M. *Statisticheskaya fizika* [Statistical physics]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 567 p. (In Russ.).

12. Novgorodova M.I. *Samorodnye metally v gidrotermal'nykh rudakh* [Native metals in hydrothermal ores]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 286 p. (In Russ.).

13. Novgorodova M.I. [Was native magnesium truly discovered?]. *Priroda – Nature*, 1991, no. 1, pp. 32–33. (In Russ.).

14. Ringvud A.E. *Proiskhozhdenie Zemli i Luny* [Origin of Earth and Moon]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 293 p. (In Russ.).

15. Baldin M.N., Pavlova A.L., Kuznetsov V.V. [Iron pentacarbonyl $\text{Fe}(\text{CO})_5$ in gas-thermal springs of the Uzon volcano (Kamchatka)]. *Reports of the Academy*

of Sciences of the USSR, 1983, vol. 269, no. 2, pp. 458–460. (In Russ.).

16. Salop L.I. *Geologicheskoe razvitie Zemli v dokembrii* [The geological evolution of the Earth in Pre-Cambrian]. Leningrad, Nedra Publ., 1982. 460 p. (In Russ.).

17. Semenenko N.P. *Kislородno-vodorodnaya model' Zemli* [Oxygen-hydrogen model of the Earth]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1990. 247 p. (In Russ.).

18. Slobodskoy R.M. *Elemento-organicheskie soedineniya v magmatogennykh i rudoobrazuyushchikh protsessakh* [Elemental-organic compounds in magmatogenic and orogenic processes]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 135 p. (In Russ.).

19. Sharkov E.V., Bogatkov O.A. [The similarities and differences between tectonomagmatic evolution patterns of the Earth and the Moon: The present view]. *Astronomicheskii vestnik – Astronomy Bulletin*, 1999, vol. 33, no. 5, pp. 415–429. (In Russ.).

20. Shuldiner V.I. [Witnesses of the early Earth history]. *Priroda – Nature*, 1985, no. 4, pp. 72–79. (In Russ.).

© В. В. Кузнецов, 2015

КУЗНЕЦОВ Владимир Валерьевич, Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Камчатский край, вед. науч. сотр., д. т. н., проф. *E-mail: ikir@academ.org. vvkuz38@mail.ru*

KUZNETSOV Vladimir, DSc, Professor, Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation of the Far-Eastern Branch of the Russian Academy of Science, Kamchatka Region, Russia. *E-mail: ikir@academ.org. vvkuz38@mail.ru*