

Основные причины образования веществ и проявления природных процессов

Природные вещества и процессы представляют собой субстанцию мирового пространства, отражающую и определяющую его формирование и существование в целом и во всех составляющих. Выяснение причин их образования и проявления имеет принципиальное значение. В статье показано, что основными являются два фактора: «воздействия» и «градиенты». Под воздействиями понимается влияние одних веществ и событий на другие, а под градиентами – векторные изменения и различия в составе, строении, свойствах, состояниях, энергиях и термодинамических параметрах систем. Для полноты выяснения роли и значения названных факторов и причин сделана попытка рассмотреть возможное их проявление на протяжении общей истории мирового пространства, придерживаясь существующих представлений о ней.

Ключевые слова: образование веществ, проявление природных процессов.

ЛИХАЧЕВ АЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, alexanderlikhachev@rambler.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

The main reasons for substance formation and natural process manifestation

A. P. LIKHACHEV

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals

Natural materials and processes represent the global substance reflecting and determining its formation and existence as a whole and in all its components. Revealing the reasons for their formation and manifestation is crucial. The paper highlights the two main factors: «influences» and «gradients». Influences are interpreted as the impact of some substances and events on other similar parameters, and gradients are vector changes and differences in systems composition, structure, properties, states, energy and thermodynamic parameters. To provide an insight into the role and significance of the above factors and reasons, an attempt was made to consider their potential manifestation throughout the general world history within the existing knowledge about it.

Key words: substance formation, natural process manifestation.

Современные исследования мирового пространства показывают, что при своей бесконечности в видимой части оно состоит из одного и того же материала с довольно ограниченным набором веществ, энергий, сил и процессов.

Вещества представлены одними и теми же элементарными частицами (протонами, нейтронами и электронами), количественные комбинации которых создают определённый, сравнительно небольшой набор химических элементов, образующих также определённый и тоже довольно ограниченный набор их соединений.

Общей является гравитационная сила ($F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / r^2$, где G – гравитационная постоянная, m – масса тел, r – расстояние между телами). Она проявляется во всемирном тяготении, взаимодействии одиночных и групповых тел (рис. 1) и внутренних преобразованиях самостоятельных формирований (звёзд и планет). Внутренняя гравитационная сила является основной

в производстве веществ – химических элементов и их соединений. Первые образуются в звёздах, а вторые в планетах, и в обоих случаях за счёт гравитационного сжатия и разогрева исходного материала.

Процессы в основном связаны с термическими, барическими, химическими и механическими воздействиями на вещества и окружающую среду, то есть они начинаются и осуществляются не самопроизвольно, а «принудительно» [12], под влиянием внешних сил, энергий и сред, вызывающих в системах появление того или иного градиента. С возникновением градиента нарушается состояние системы и тем самым стимулируется проявление процесса, направленного на восстановление старого или достижение нового относительно стабильного состояния.

Таким образом, воздействия и градиенты являются главными причинами образования веществ и проявления природных процессов. Без воздействия

не возникают градиенты, а при отсутствии градиентов не осуществляются процессы и не образуются вещества.

Весь мир и всё в нём появляется, существует и исчезает благодаря и по причине воздействий. Это касается также животного мира: его индивиды зарождаются благодаря оплодотворению, существуют за счёт питания, а исчезают под влиянием старения организма.

Названные выше фундаментальные частицы и первые, наиболее лёгкие химические элементы (водород и гелий) образовались, как принято считать, в ходе «Большого взрыва», то есть «принудительно»: под воздействием ударной волны, градиентно меняющейся (сначала с увеличением, а затем с убыванием) по температуре и давлению. Другие химические элементы и возникающие из них вещества создаются и эволюционируют в градиентно-принудительных процессах формирования звёзд, взрывах сверхновых, образованиях и эволюции планет.

Практически все природные процессы имеют однотипную градиентную картину своего проявления и изменения во времени, независимо от их длительности. Сначала они увеличиваются до того или иного максимума, далее существуют при нём какое-то время, а затем уменьшаются до минимума и полного

прекращения. Соответственно преобразуется вовлекаемый в процесс материал, и меняются получаемые продукты.

К одним из наиболее распространённых и важных в природе градиентных процессов относится конвекция, совершаемая из-за наличия в системах градиентов по температуре, давлению, состоянию и массе веществ. Она проявляется во всех сферах и в самых различных масштабах – от микроскопических до космических (в газово-пылевых облаках, звёздах и планетах).

Конвекция, как и градиентность, исходно связана с фундаментальным свойством Вселенной – «холодным» состоянием межзвёздной среды. Причём практически все крупные (планетные, звёздные и др.) тела, находящиеся в этой среде, градиентны по отношению к ней, так как обычно обладают более высокой температурой, создаваемой в основном собственными процессами. С другой стороны, эти тела имеют индивидуальную градиентность, проявляемую, в частности, в том, что их поверхность более холодна по отношению к внутренней части тел. Именно такое состояние делает всю Вселенную и большинство находящихся в ней тел градиентными.

Обычно в этих телах собственная (в основном температурная) градиентность обуславливает проявление конвекции веществ, особенно интенсивной в звёздах.

В земных условиях конвекционные процессы совершаются в атмосфере планеты, в замкнутых течениях океанических вод, в мантии и во внешнем ядре; происходит конвекция магмы в закрытых магматических очагах и в каналах современных вулканов, гидротермальных растворов в земной коре.



Рис. 1. Гравитационное взаимоотношение космических тел:

А – в галактиках (M51) и Б – в околозвёздных (Солнечной) системах; по материалам Википедии



Проявление конвекционных процессов связано с действием законов термо- и гидродинамики. В любой, особенно закрытой, системе, способной к внутреннему перемещению, при наличии температурного градиента возникает циркуляционное движение вещества от горячего участка к холодному и обратно. В основном оно обусловлено изменением с температурой состояния веществ (их плотности, вязкости и подвижности), а также влиянием гравитации.

Общая картина конвекционных потоков изображена на рис. 2. Как видно, в вертикальном канале горячий поток движется (поднимается) по центральной части, а охлаждённый опускается по краевым частям. Течение здесь определяется плотностью и гравитацией, законом Архимеда. В горизонтальном канале прямой (горячий) поток движется по верхней, а обратный – по нижней половине канала. В этом случае проявляется эффект теплового расширения, действие закона Паскаля. В наклонных каналах функционируют оба закона при сохранении упорядоченности движения, свойственной горизонтальному каналу.

В ходе образования и эволюции материального мира воздействия и градиентность могли проявляться в следующих видах и вариантах.

Ранняя Вселенная. По современным характеристикам, Ранняя Вселенная представляла собой высокооднородную изотропную среду. Такой средой могла быть тёмная энергия – «неизменная энергетическая плотность, равномерно заполняющая пространство Вселенной».

В этом равновесном состоянии Вселенная была способна находиться до бесконечности. Нарушить его могло только появление градиента, например, в плотности энергии. И именно он, градиент, мог стать первопричиной всего происходящего в дальнейшем: Большого взрыва, образования элементарных частиц, водорода, гелия, звёзд, других химических элементов, минералов, горных пород и руд, планет, космических и геологических процессов. Каждое из перечисленных и иных событий в своём проявлении имело собственные градиентные причины, было и есть градиентным.

Появившийся градиент в энергетической плотности Ранней Вселенной мог вызвать лавинный поток энергии от более плотного окружения к менее плотному по энергии пространству. Сверхпредельная концентрация энергии в центре её скопления могла вызвать предполагаемый Большой взрыв. При осуществлении Большого взрыва, как и любого другого, должна была возникнуть и распространяться ударная волна, градиентно уменьшающаяся по PT параметрам с удалением от центра взрыва.

В области распространения градиентной ударной волны Большого взрыва существовали градиентные

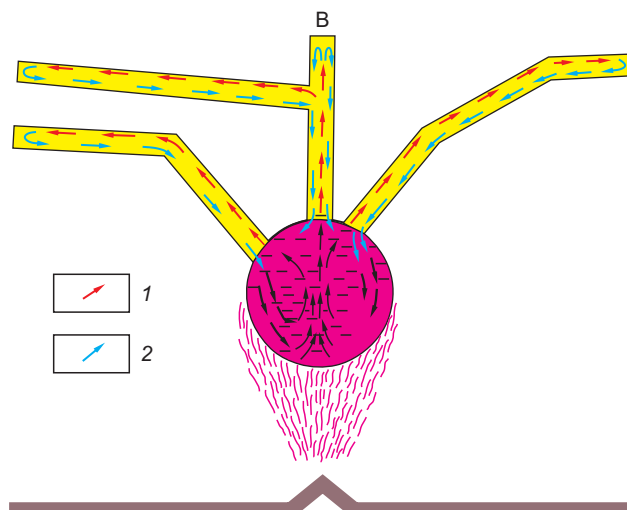


Рис. 2. Схема циркуляции жидкостей в термоградиентных условиях:

направление потока: 1 – прямого (горячего), 2 – обратного (охлаждённого)

по давлению и температуре зоны, в каждой из которых возникали определённые, устойчивые в параметрах зоны вещества. В ближайшей к центру взрыва зоне (наиболее высокотемпературной и высокобарической) образовывалось элементарное вещество (частицы), сформировавшее центральную часть (ядро) Вселенной, а в удалённой – водород и гелий.

Таким образом, Большой взрыв из первоначальной энергии мог сформировать первичную массу ($E \rightarrow mc^2$), то есть первичную материю, а вместе с ней появилась и наблюдаемая гравитация. Другая составляющая продуктов Большого взрыва, представленная элементарными частицами, осталась скрытой в виде тёмной материи.

Дальнейшее преобразование видимой материи стало осуществляться преимущественно под воздействием гравитации и появляющихся при этом градиентов.

В заполненном водородом и гелием пространстве Вселенной под действием гравитационных сил и градиентов возникали сначала облачные скопления первичных веществ (водорода и гелия), а затем и звёздные образования. Градиентная эволюция последних приводила и приводит к формированию всех остальных (более тяжёлых, чем водород и гелий) градиентных химических элементов.

Это стало возможным с переходом значительной части исходного водорода в нейтроны, одним из вариантов которого допускается слияние протона с электроном: $p+e \rightarrow n+\nu_e$ (протон+электрон→нейтрон+нейтрино). Численное разнообразие объединяющихся протонов, нейтронов и электронов определяет

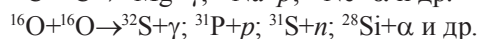
количество существующих химических элементов.

Объединение протонов, нейтронов и электронов (с образованием химических элементов и их изотопов) происходит в условиях сверхвысоких температур ($\geq 10^{7-9}$ К) и давлений ($\geq 10^{16}$ Па). Каждый химический элемент и изотоп (в понимании автора) имеет свои особые (градиентные) *PT* параметры синтеза и, соответственно, представляет собой градиентный продукт градиентного процесса преобразования («горения») исходного материала (водорода).

Как принято считать, образование химических элементов осуществляется в ходе эволюционного внутризвёздного нуклеосинтеза и при взрывах сверхновых, являющихся основным источником пополнения межзвёздной среды элементами с атомными номерами больше He.

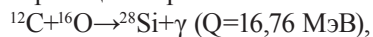
Звёзды. Молодые звёзды главной последовательности градиентно эволюционируют по мере горения водорода, превращающегося в гелий: $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu$, то есть преобразования четырёх протонов в α -частицу, два позитрона и два нейтрино. Эта термоядерная реакция начинается по достижении коллапсирующим протоматериалом температуры 10^7 К и протекает в интервале 10^7 – $2 \cdot 10^7$ К. При дальнейшем градиентном возрастании температуры до 10^8 – $2 \cdot 10^8$ К начинается горение гелия, протекающее по реакции: $3^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$. Если при образовании углерода гелий остаётся неизрасходованным, то возможна реакция с образованием кислорода: $^{12}\text{C} + ^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O} + \gamma$.

При температурах, близких к $5 \cdot 10^8$ – 10^9 К, начинают гореть, соответственно, углерод и кислород:



Горение кремния приводит (при $2 \cdot 10^9$ К и выше) к образованию более тяжёлых элементов, например $^{28}\text{Si} + ^{28}\text{Si} \rightarrow ^{56}\text{Ni} + \gamma$ или $^{28}\text{Si} + ^4\text{He} \rightarrow ^{56}\text{Ni}$.

В существующих в литературе концепциях о взрывах крупных ($> 8M_{\odot}$) сверхновых полагается, что нуклеосинтез в них реализуется так же, как и при внутризвёздном синтезе, но только за очень короткое время (0,1–10 с) под воздействием сильной ударной волны, путём последовательного перехода одних элементов в другие с осуществлением ядерных реакций горения:



Этот вариант – последовательный синтез химических элементов при практически мгновенной вспышке сверхновых – вызывает сомнение. За сверхкороткое время надо пропустить через одно «ушко» поочерёдное образование колоссальных масс ($> 8M_{\odot}$) всех элементов и их изотопов, что маловероятно. В таких условиях мог осуществляться «штамповочный» способ образования веществ, смысл которого заключа-

ется в резком повышении или понижении давления и температуры, вызывающих мгновенное объединение элементарных частиц [16].

Взрывы сверхновых. Взрывы сверхновых ($> 8M_{\odot}$, рис. 3, А), как принято считать, происходят по достижении ими избыточных масс, градиентно поступающих из соседнего источника. Избыточные массы приводят к критическому гравитационному уплотнению центральной части звезды с градиентным переходом её из элементного в элементарное (нейтронное) состояние.

Переход сопровождается резким уменьшением объёма вещества (от $156 \cdot 10^{-12}$ м радиуса атома Fe до $3,2935 \cdot 10^{-16}$ м радиуса нейтрона). Этот перепад (градиент) вызывает схлопывание к центру всей массы предсверхновой с формированием (под воздействием мощного материального удара) нейтронного ядра и элементарной смеси нейтронов, протонов и электронов в вышележащих слоях (см. рис. 3, Б). Возникающая при этом ударная волна отбрасывает надъядерную часть назад к периферии и далее в космическое пространство (см. рис. 3, В).

Выброс вещества, представленного смесью нейтронов, протонов и электронов (см. рис. 3, В), сопровождается градиентным снижением в нём *PT* параметров и соответствующим градиентно-декомпрессионным синтезом химических элементов, отличающимся от внутризвёздного синтеза, проистекающего с градиентным повышением *PT* параметров. При этом синтез элементов и их изотопов происходит практически мгновенно и одновременно, без обычных ядерных реакций, путём «штампования» из элементарных частиц [16].

Иначе говоря, центральная часть предсверхновой за счёт принудительно-гравитационного коллапса сжимается до предельного состояния и остаётся в нём навсегда (образуя нейтронную звезду или черную дыру, в зависимости от исходной массы звёзды). А вышележащая часть, претерпев ударно-принудительное превращение в нейтронно-протонно-электронную смесь, принудительно отражается с градиентным разуплотнением и градиентно-декомпрессионным синтезом химических элементов и их изотопов, сопровождающимся выделением колоссальной энергии (10^{50} – 10^{51} эрг) и свечением, наблюдаемыми при вспышке сверхновых.

Вероятно, существует общий *PT* интервал синтеза химических элементов и их изотопов (см. рис. 3, В). В нём имеются градиентные зоны возникновения и устойчивости для каждого элемента и его изотопов. Наиболее тяжёлые элементы (которым требуются большие усилия для объединения и удержания большего количества протонов и нейтронов) образуются при более высоких *PT* параметрах в зонах, более

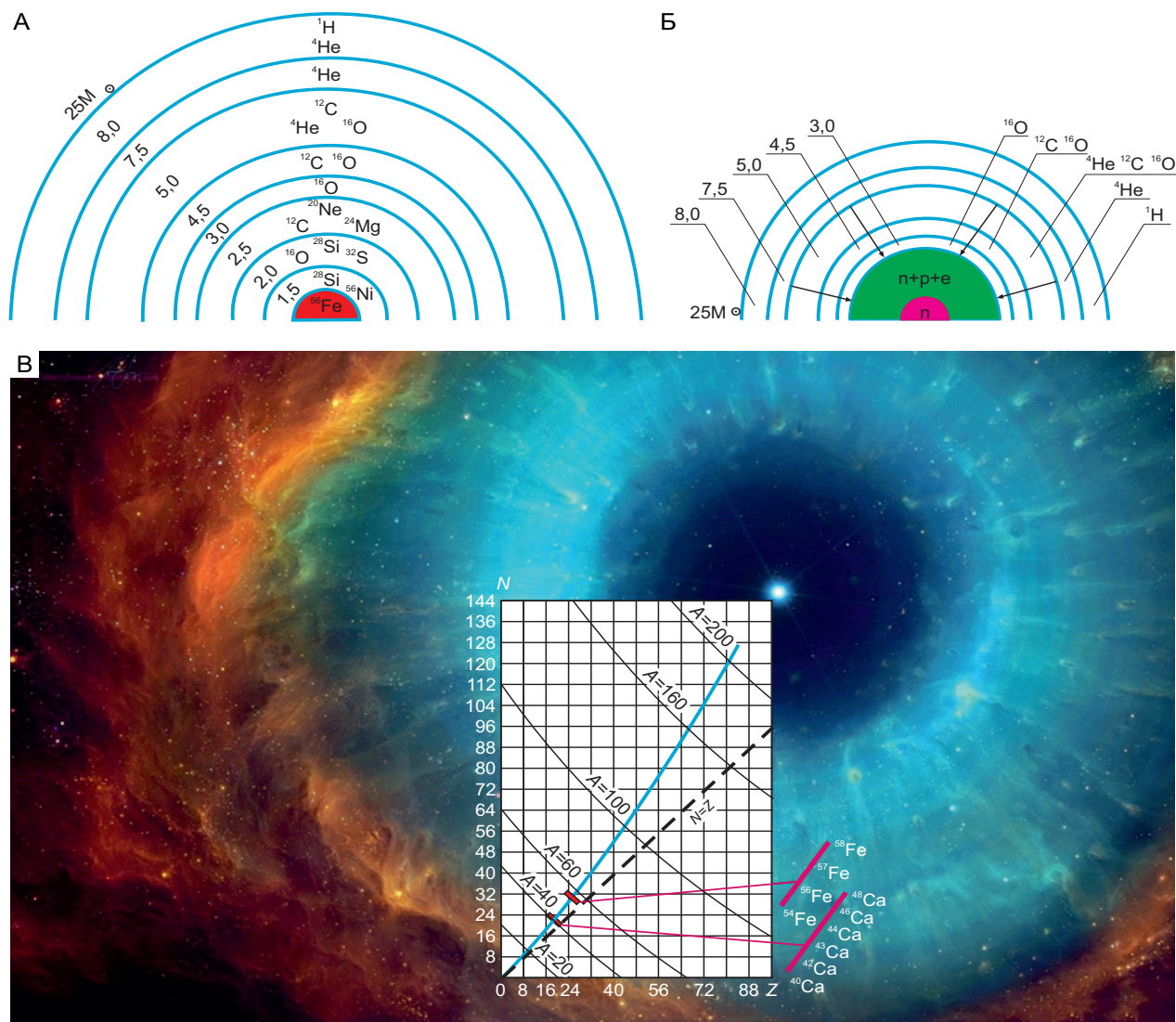


Рис. 3. Схемы эволюции сверхновых, $25M_{\odot}$:

А – предсверхновая перед вспышкой (José J.; Iliadis C., 2011); Б – стадия превращения центральной части в нейтронное вещество, а вышележащей – в смесь элементарных частиц: нейтронов, протонов и электронов; В – стадия взрыва: образования нейтронного ядра, выброса смеси элементарных частиц с вышележащими слоями и синтеза химических элементов

близких к нейтронному ядру. У каждого элемента существуют свои PT пределы и место образования, определяющие возможности и количество продуцируемых в них изотопов – от безизотопного (в невариантном случае, при отсутствии собственного интервала) до полиизотопных.

Формирование планет. Как известно, образование планет тесно связано с формированием звёзд, осуществляемым в результате градиентного коллапса материала газовой-пылевой облаков, в котором резко преобладает газовая составляющая ($H+He \sim 98$ масс. %). Они образуются в периферической части градиент-

ного газовой-пылевой диска, остающейся не вовлечённой в падение на коллапсирующую массу протозвезды.

В гравитационно-градиентных поясах этой части диска под действием силы тяжести зарождаются планетезимали, оформляющиеся в округлые тела-планеты и градиентно дифференцирующиеся по составу с концентрацией тяжёлых («земных») элементов в их центральной области.

Все первичные планеты могли быть в основном газовыми. Это связано с тем, что не существует условий и механизмов, чтобы из исходно газового (на 98 %) материала самостоятельно формировались тела,

состоящие преимущественно из более тяжёлых, чем водород и гелий, элементов, то есть земного типа.

Отделиться от преобладающей газовой составляющей это тяжёлое вещество могло лишь принудительно, под воздействием внешних сил. Как было показано ранее [16, 28], наиболее вероятной причиной тому может быть ударная волна первоначальной вспышки звёзд, создающая градиентное (по *PT* параметрам) воздействие на окружающую среду.

Другая проблема состоит в том, что Земля и иные планеты земной группы имеют все признаки полного плавления слагающего их материала, но самостоятельно они не могли это осуществить из-за недостаточности их массы [6, 7]. Данное противоречие автором объяснено тем, что в рассматриваемом случае имело место декомпрессионное плавление твёрдого вещества из-за резкого удаления от него преобладающей газовой составляющей под воздействием ударной волны первоначальной вспышки Солнца [16, 28].

В дальнейшем, после длительного нахождения в расплавленном состоянии, под воздействием холодного космоса и наличия внутреннего температурного перепада происходила градиентная кристаллизационно-гравитационная дифференциация расплавленного материала с образованием градиентных слоёв планет: ядра, мантии и коры. Этими преобразованиями ограничивается проявление основных внутренних процессов, осуществляемых на планетах земного типа, не содержащих в своём составе гидросферы. Далее их изменения в основном связаны с ударами падающих космических тел. При наличии же гидросферы у планеты, как у Земли, эволюционные преобразования в ней продолжают, выражаясь в виде геологических процессов.

Геологические процессы. Основная суть геологических процессов состоит в градиентном преобразовании верхних слоёв планеты под воздействием, с одной стороны, более высокотемпературных её внутренних частей (нижней мантии и ядра), а с другой, более холодной внешней части (гидросферы и атмосферы).

Из внутренних частей планеты по причине наличия градиента плотности и температуры поднимаются термические плюмы (рис. 4, А). Они вызывают плавление вещества мантии и образование в ней магматических очагов (горячих точек), из которых в земную кору внедряются магматические расплавы с образованием интрузивных массивов, вулканов и лавовых полей (см. рис. 4, Б).

Внешнее воздействие, кроме эрозионных процессов, связано с проникновением океанической воды в горячую мантию и её гидратацией, которая вызывает разуплотнение мантийного материала, его под-

ём и декомпрессионное плавление. Всё это обуславливает проявление океанического магматизма, образование океанической коры, её спрединг (с передвижением континентов) и субдукцию с осуществлением островодужного магматизма [12].

Схематическая картина влияния воды на процессы перемещения континентальных плит, а также спрединга и субдукции океанического дна показана на рис. 5. Принципиальная особенность этой схемы состоит в том, что в ней рассматриваемые процессы осуществляются не в результате общей конвекции мантийного вещества, как принято считать, а вследствие перемещения сравнительно ограниченных его масс под воздействием воды (гидратации вещества мантии) и с осуществлением градиентной дифференциации материала мантии на мафическую и ультрамафическую (реститовую) составляющие.

В зонах субдукции мафическая составляющая океанической плиты (с участием её осадочного чехла и окружающих пород континентальной коры) подвергается дегидратации и принудительному плавлению в результате трения и погружения в более высокотемпературную мантию. При этом освободившаяся вода возвращается в гидросферу, а образующийся расплав и структурно-тектоническая обстановка обеспечивают проявление островодужного магматизма. Ультрамафическая же часть океанической плиты под напором всплывающей мантии в зонах спрединга и по причине градиента плотности опускается в мантию, обогащая её магнием.

Геологические процессы сопровождаются различными «принудительными» преобразованиями веществ, и в том числе перераспределением химических элементов и изменением их соединений, осуществляемых под температурным и барическим воздействием глубинных частей планеты и её атмосферы.

Химические элементы и их изотопы, обладая однотипным составом (протоны+нейтроны+электроны), индивидуальны («градиентны») по количеству этих элементарных частиц и вследствие того по поведению в природных и других процессах. Находясь в едином, градиентном по составу ряду, каждый химический элемент занимает в нём вполне определённое место, соответствующее определённым условиям его образования. Иначе говоря, химические элементы – это градиентные продукты градиентного процесса, осуществляемого под воздействием градиентных температур и давлений.

Объединение и разъединение химических элементов (образование и разрушение минералов и иных веществ) определяются присущими им градиентными энергетическими свойствами и контролируются также градиентными температурой и давлением. Наиболее полно данные свойства выражены в свободных

энергиях образования создающих элементами соединений. По этому показателю химические элементы располагаются в определённой градиентной последовательности (рис. 6, А), образуя единый градиентный термодинамический ряд, в котором каждый правостоящий элемент создаёт более прочные (устойчивые) соединения по сравнению с левостоящими. Соответственно, при плавлении и растворении

веществ левостоящий элемент переходит в расплав и раствор раньше, чем правостоящий, а выпадает из них позднее.

На рис. 6, Б показано расположение основных рудогенных элементов по величине свободных энергий образования создающих ими ионов и нейтральных молекул в водных растворах. Крайнее левое положение в этом ряду занимает золото, что свидетельствует о его самой низкой энергетической возможности нахождения (растворимости) в водных растворах по сравнению с другими приведёнными элементами и по отношению ко всем остальным химическим элементам. Эти данные, а также сведения по величинам свободной энергии образования твёрдых соединений [13] указывают на энергетическую возможность и выгодность нахождения золота и ближайших к нему элементов (Ag, Pt, Pd, Hg) в собственных соединениях, чем объясняется способность и причина их существования в самородном виде.

Петрогенные элементы (см. рис. 6, В) в термодинамическом ряду (см. рис. 6, А) занимают более правую позицию по сравнению с рассматриваемыми рудогенными элементами как для водных растворов, так и для твёрдых образований, что в целом свидетельствует о большей устойчивости их соединений.

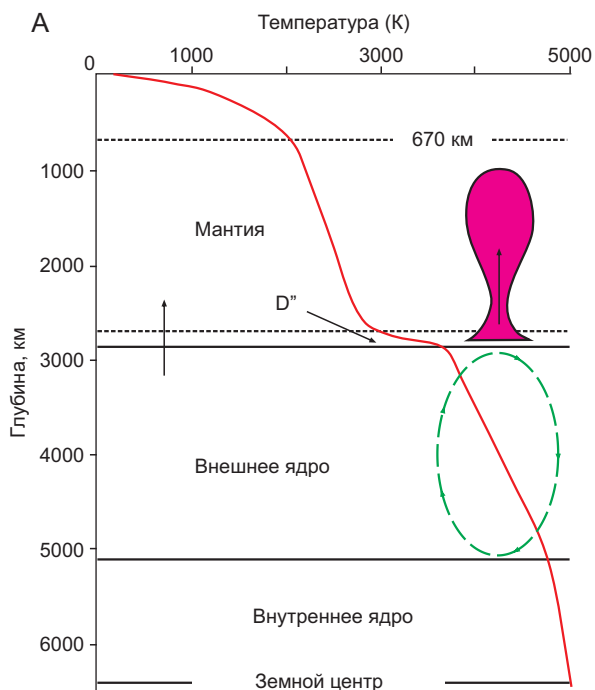
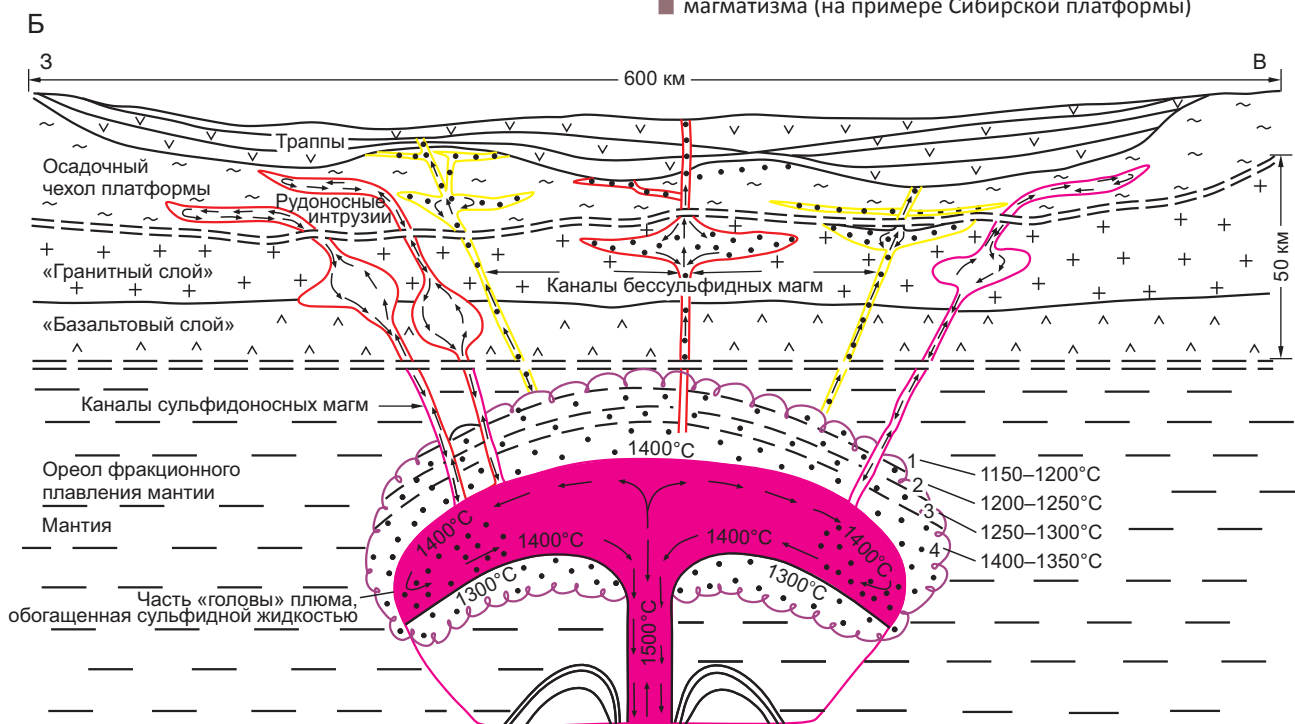


Рис. 4. Схемы воздействия на земную кору внутренних частей Земли [17]:
 А – подъём термического плюма; Б – воздействие термического плюма на верхнюю мантию и проявление траппового магматизма (на примере Сибирской платформы)



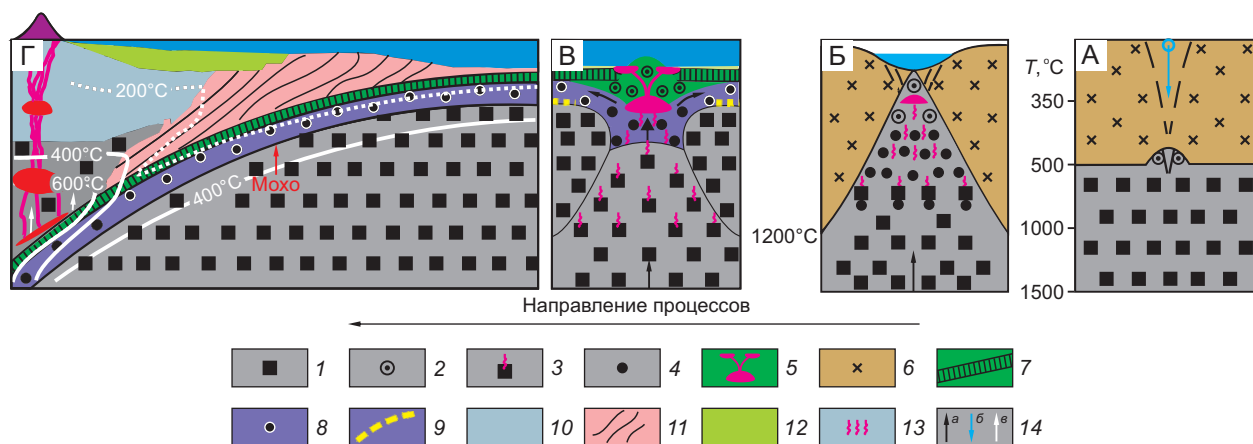


Рис. 5. Схема участия воды в процессах перемещения континентальных плит, спрединга и субдукции океанического дна [12]:

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 – материк; 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

Однако в природных условиях эти элементы обычно создают сложные по составу минеральные формы, свободная энергия образования которых отражает суммарный эффект, но не энергию связи отдельного элемента. Поэтому величина последней всегда ниже, чем общая свободная энергия образования минерала. Вместе с тем, энергии связи одного и того же элемента в простых соединениях может быть больше, чем в сложных. Иначе говоря, простые соединения с относительно низкой свободной энергией образования могут обладать большей устойчивостью к растворению и плавлению, чем сложные, имеющие большую свободную энергию образования.

Различие (градиент) в энергиях связи элементов, входящих в состав сложных соединений, является причиной проявления парциального плавления и инконгруэнтного растворения минеральных веществ. Например, в оливине энергия связи левостоящего в энергетическом ряду железа (см. рис. 6, Б) ниже ($\Delta G^\circ \text{Fe}_2\text{SiO}_4 = -1482,3$ Дж/моль), чем правостоящего магния ($\Delta G^\circ \text{Mg}_2\text{SiO}_4 = -2175,4$ Дж/моль). Вследствие этого при нагреве оливина в расплав и в раствор вначале переходит богатая железом («фаялитовая») составляющая. За счёт неё при кристаллизации расплава в природных условиях образуются обогащённые железом продукты типа магматических пород (комплексов) основного состава с магнетитовыми горизонтами, а в гидротермальных

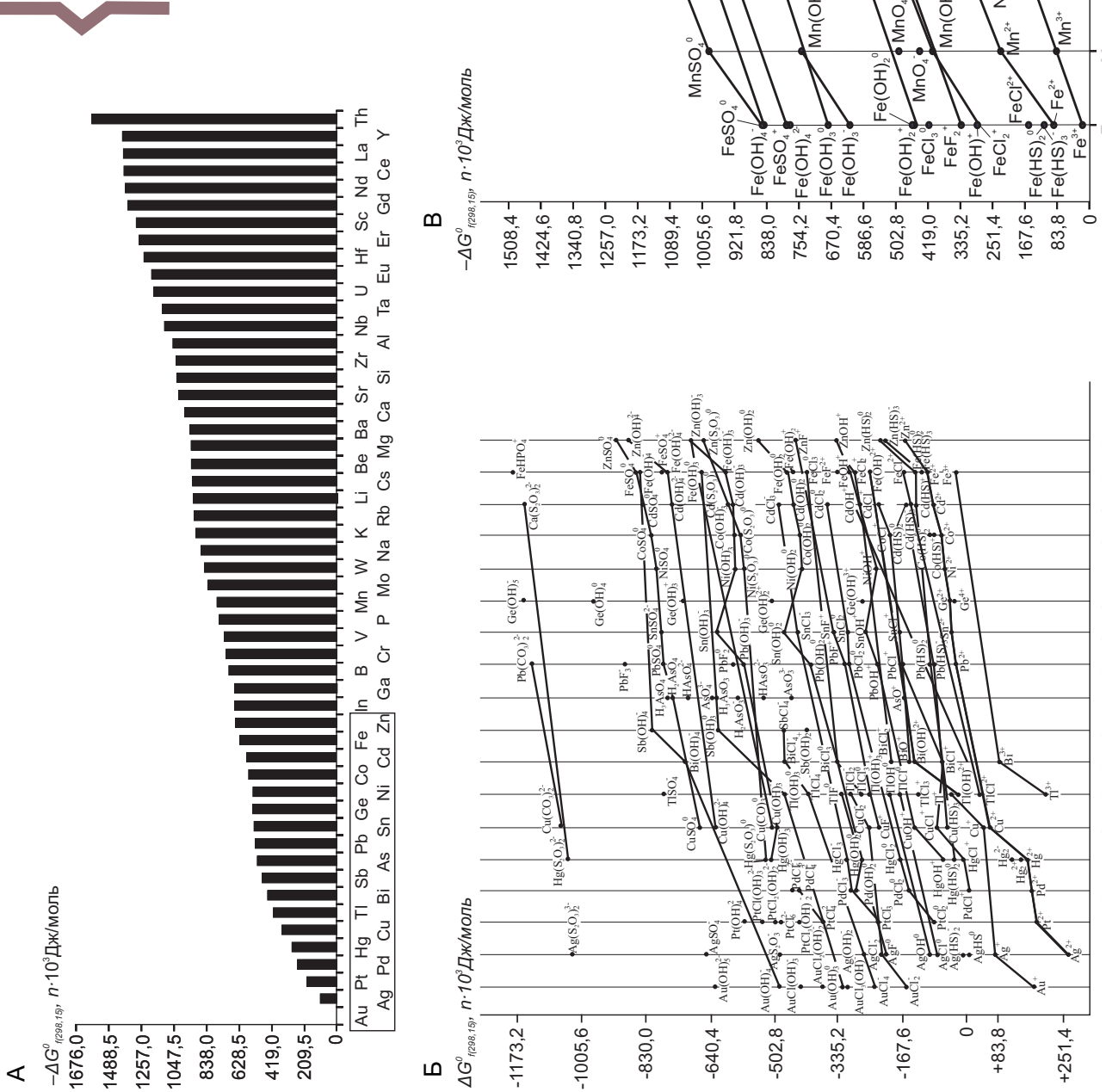
процессах происходит отложение веществ кварц-железорудных формаций, например, по реакции $3\text{Fe}_2\text{SiO}_4 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 3\text{SiO}_2$.

Таким образом, возможность перехода каждого элемента в расплав и раствор зависит от соотношения (градиента) величин энергии (силы) его связи в исходном твёрдом веществе и в расплаве или растворе. Если энергия связи элемента в исходном веществе будет больше, чем в водном растворе, то он остаётся в твёрдом соединении. Превышение энергии связи элемента в ионах и молекулах растворителя обеспечивает его предпочтительный переход в раствор, если этому не мешают другие причины. К последним относятся: количественные соотношения между раствором и растворимым веществом; состояние растворимого вещества и характер его взаимоотношения с раствором; количество и характер распределения компонентов в исходной массе [15, 17, 26].

В природных условиях доминируют ситуации, когда количество элементов растворимых веществ резко преобладает над содержанием в растворе лигандов – основных носителей растворённых компонентов. При этом нередко возникает энергетическая конкуренция между элементами исходного вещества в отношении способности, предпочтительности и очерёдности их поступления в раствор, то есть соединения с имеющимися в растворе лигандами. В результате в раствор обычно в первую очередь

Рис. 6. Термодинамический ряд химических элементов: величины свободных энергий образования ионов и нейтральных молекул в водных растворах [10, 17, 20]:

А – единый ряд в обобщённых значениях; конкретные формы и значения элементов: для рудогенных (Б) и петрогенных (В)



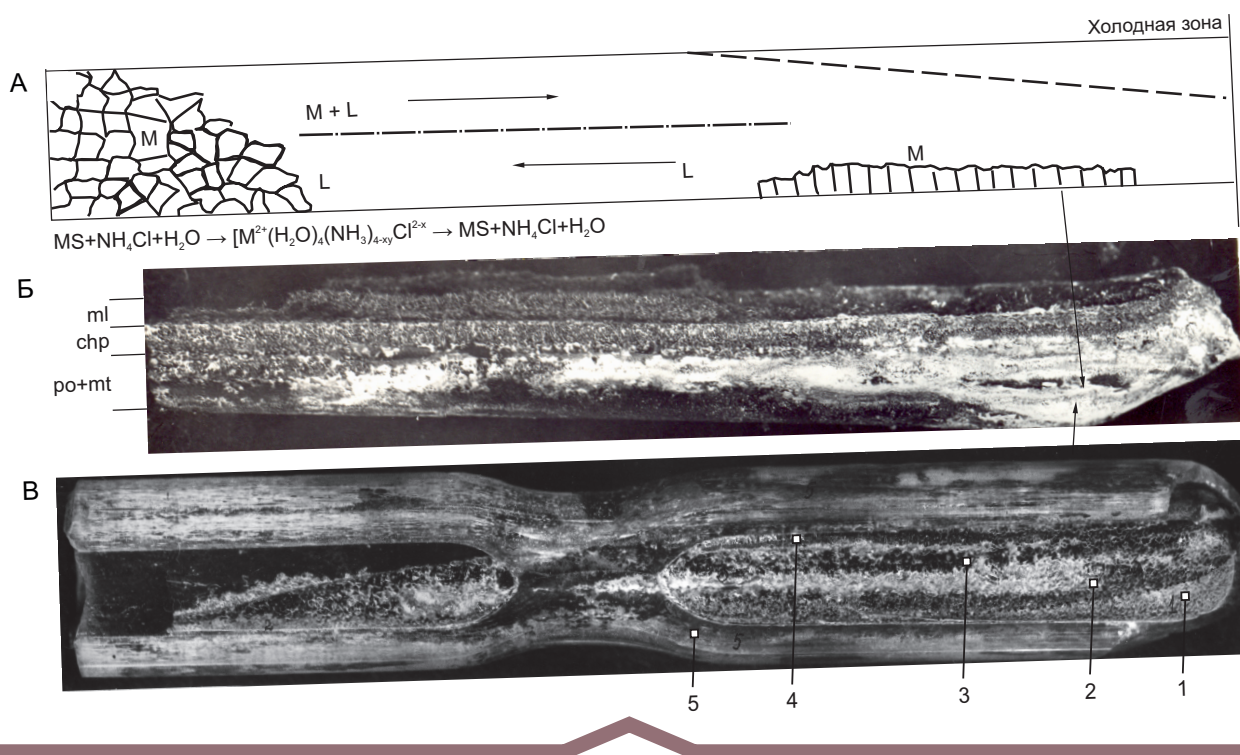


Рис. 7. Синтетические сульфидные «залежи» [17]:

А – принципиальная схема процесса; Б – вертикально дифференцированная «залежь», полученная в процессе гидротермального переотложения халькопирит-пентландит-пирротиновых руд месторождения Норильск I; слои: po – пирротиновый, chp – халькопиритовый, ml – миллеритовый (неплотные сращения игольчатых кристаллов), ув. 2,5; В – вертикально и горизонтально дифференцированная «залежь», полученная при гидротермальном переотложении галенит-сфалерит-халькопирит-борнит-пиритовой ассоциации месторождения III Интернационал; слои: 1 – существенно сфалеритовый, 2 – существенно пиритовый, 3 – существенно борнитовый, 4 – зона частого переслаивания тонких минеральных слоёв борнита, халькопирита, пирита, 5 – кварцевая ампула, ув. 2

поступает правостоящий в термодинамическом ряду элемент, создающий наиболее прочные связи с лигандами. В это время другие элементы остаются в исходном веществе, хотя они могут вступать в межфазные перераспределения. Лишь после выноса преобладающей части энергетически предпочтительного элемента из растворяемого материала и зоны растворения в раствор поступает следующий по предпочтительности элемент и так далее вплоть до полного переноса вещества. Поочерёдный (градиентный) вынос элементов из исходного материала и зоны растворения приводит к образованию химической и минеральной зональности в местах отложения веществ, то есть градиентных продуктов [13, 15, 17, 26].

В качестве примера могут служить продукты, полученные автором при гидротермальном переотложении сульфидных руд месторождений Норильского района и Урала (рис. 7).

Эксперименты проводились в условиях температурного перепада [10, 11, 26]. В качестве исходного материала использовались пентландит-халькопирит-

пирротиновые руды месторождения Норильск I и борнит-халькопирит-пиритовые ассоциации уральского месторождения им. III Интернационала. Исходное вещество и водный раствор хлорида аммония находились в запаянной кварцевой ампуле размером 380×12 мм, которая помещалась в стальном автоклаве, содержащем дистиллированную воду для компенсации давления в ампуле. Нагрев автоклава осуществлялся в горизонтальных трубчатых печах.

Мантийные магматические расплавы, зарождающиеся под температурным или декомпрессионным воздействием, образуются путём градиентного (парциального) плавления исходного пиролит-перидотитового материала в последовательности от легкоплавких (маломагнезиальных) к тугоплавким (высокомагнезиальным) разностям (рис. 8).

При кристаллизации этих расплавов в земной коре и на её поверхности, осуществляемой в результате снижения их температуры под охлаждающим воздействием вмещающих пород и атмосферы, происходит градиентное (фракционное) выделение

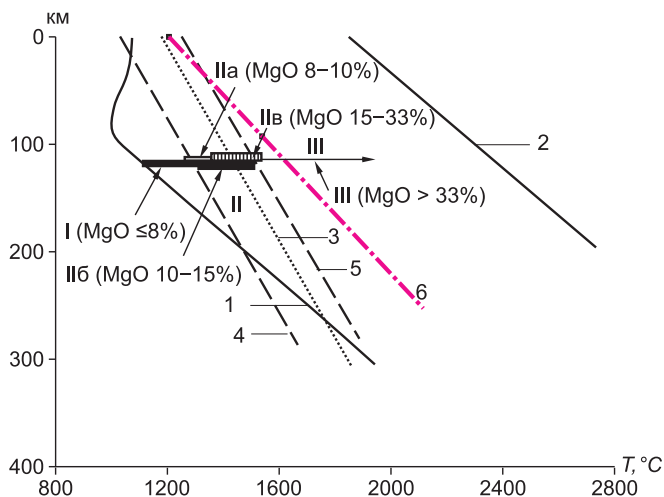


Рис. 8. Условия образования мантийных мафит-ультрамафитовых магм [17]:

1, 2 – линии солидуса и ликвидуса пироксена, содержащего 0,1 масс. % воды [32]; 3 – линия солидуса пирротина [4, 30]; 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 ($MgO 10-15\%$), 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 ($MgO > 33\%$)

(кристаллизация) минеральных фаз в обратной последовательности – от тугоплавких к легкоплавким разностям (рис. 9).

Проявляемые в природе события обычно включают несколько видов причин их осуществления («воздействий» и «градиентов»), которые целесообразно выявлять, анализировать, объяснять и учитывать при выполнении научных и практических работ.

Например, при изучении траппового магматизма Сибирской платформы и связанного с ним Pt-Cu-Ni рудообразования в Норильском районе требовалось установить причины следующих их особенностей.

1. Исключительно большое количество (~4 млн км³) компактно внедрённых и излившихся на земную поверхность за сравнительно короткое (~1 млн лет) время преимущественно однотипных по составу (в основном толеитовых) мантийных магм.

2. Наличие скоплений химически сложного рудного вещества, сформировавших уникальные по составу и запасам Pt-Cu-Ni месторождения.

Массовый и интенсивный магматизм однотипного состава указывает на сравнительно быстрое и обширное вовлечение в разогрев и плавление исходного мантийного материала при относительно одинаковых и стабильных термодинамических (PT) условиях.

По современным представлениям, подобные условия могли быть созданы в двух обстоятельствах: в обстановках спрединга и субдукции океанического дна и в горячих точках, связанных с термическими плюмами, поднимающимися от границы ядрона нижняя мантия.

Системы спрединга и субдукции (см. рис. 5) менее вероятны, так как они не благоприятны для зарождения

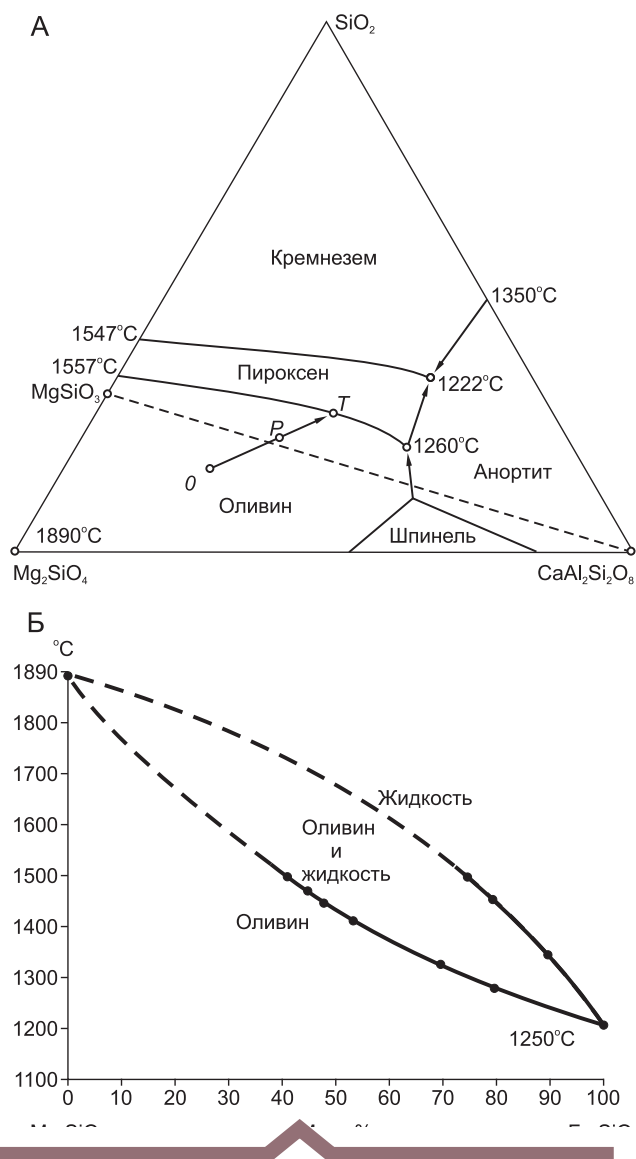


Рис. 9. Диаграммы состояния силикатных систем и условия выделения в них породообразующих минералов: системы: А – $Mg_2SiO_4-Ca_2Al_2Si_2O_8-SiO_2$ [21], Б – $Mg_2SiO_4-Fe_2Si_4$ [22]

сульфидоносных мезомафических магм (MgO 8–33 масс. %) и для существенной концентрации сульфидов [12]. Их магматизм в основном ограничивается зарождением бессульфидных и слабосульфидоносных мафических (MgO ≤ 8 масс. %) магм (см. рис. 8).

В зонах спрединга (см. рис. 5, А) это связано с тем, что причиной образования в них магм является декомпрессионное плавление мантийного вещества, обусловленное его подъёмом и разуплотнением в результате гидратации под воздействием проникающей в горячую мантию океанической воды. В таких условиях, из-за повышенной охлаждённости вещества мантии, возможны переход в расплав в основном его наиболее легкоплавкой составляющей и образование преимущественно бессульфидных мафических магм (MgO ≤ 8 масс. %) типа MORB. Большой частью этой легкоплавкой составляющей является пироксеновая фракция исходного вещества, для которой характерно пониженное содержание никеля и хрома из-за их невысокой растворимости в пироксенах – для Ni ≤ 300 ppm (рис. 10, А).

В зонах субдукции океанической коры (см. рис. 5, Г) магмы образуются по причине погружения в горячую мантию и плавления при сравнительно низких температурах тех же бедных никелем и хромом базальтов MORB и покрывающих их морских осадков с проявлением бессульфидного островодужного магматизма (MgO ≤ 8 масс. %).

Магматизм термических плюмов более благоприятен для рудообразования. Он обусловлен воздействием высокотемпературного расплава нижней мантии на вещество средней и верхней мантии (см. рис. 4, А). Это обеспечивает возможность большей степени плавления окружающих веществ с образованием не только бессульфидных мафических (MgO ≤ 8 масс. %), но и более высокотемпературных сульфидоносных мезомафических (MgO 8–33 масс. %) магм (см. рис. 8), способных формировать Pt-Cu-Ni месторождения.

К этому типу магматизма относятся и траппы Сибирской платформы (см. рис. 4, Б). Сульфидоносной здесь является сравнительно небольшая часть, обладающая повышенной магниальностью (MgO 10–12 масс. %) и более высокой температурой образования (см. рис. 8).

Из-за большей степени плавления исходного вещества магмы термических плюмов имеют более высокое содержание никеля и хрома по сравнению с магмами MORB, что отчётливо проявляется в составе образующихся в них фенокристаллов оливина (см. рис. 10, Б, В). Это же свидетельствует об их зарождении в значительной мере за счёт обогащённой никелем и хромом оливиновой части мантийного вещества.

Данный факт важен в практическом отношении, особенно в оценке перспективности магматических

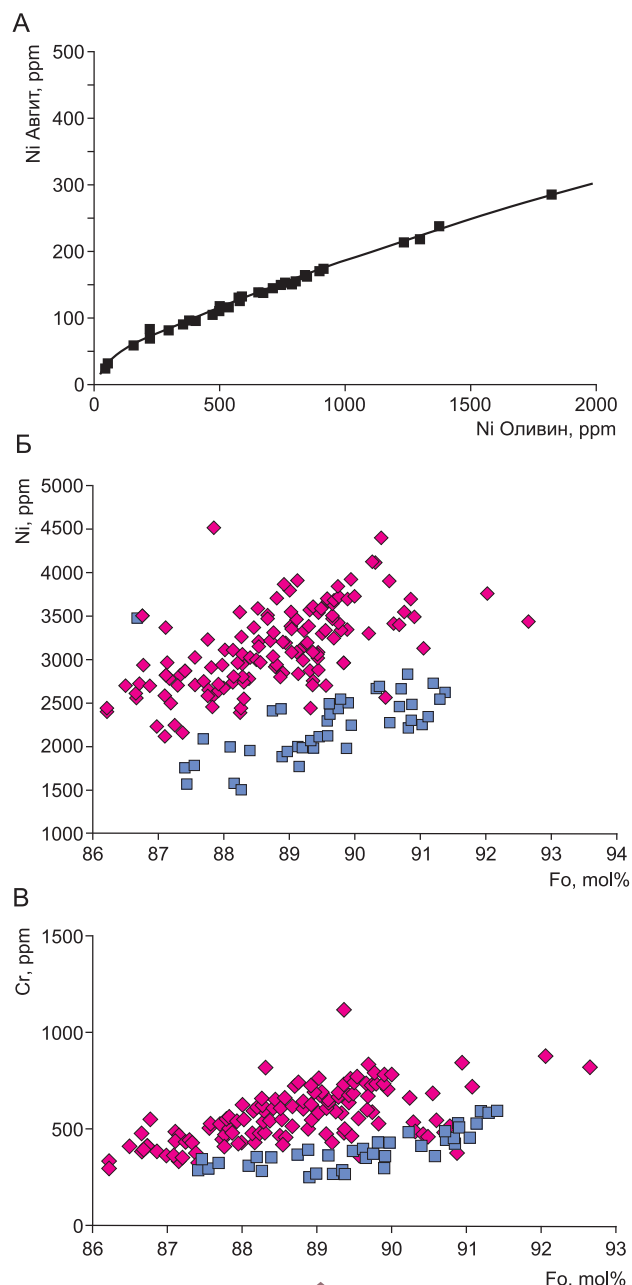


Рис. 10. Содержание никеля и хрома в оливинах и пироксене магматических пород:

А – никеля в сосуществующих зёрнах клинопироксена (авгита) и оливина (равновесные соотношения) в интрузиях Parikkala [25]; Б – никеля и В – хрома в фенокристаллах оливина срединно-океанических базальтов – MORB (квадраты, синие) и пород континентального магматизма (ромбы, красные) [31]

проявлений на обнаружение в них платино-медно-никелевых месторождений.

Скопление рудного вещества и образование Pt-Cu-Ni месторождений в Норильском районе Сибирской платформы во многом обусловлены благоприятной

тектонической обстановкой проявления магматизма. Она выражалась в периодическом чередовании расширения (разуплотнения) и сжатия земной коры, обеспечивающих импульсивное поступление магм к её поверхности и временную его остановку [1, 5, 9]. Расширение вызывалось избыточным накоплением расплава в основном очаге плюма и влиянием увеличивающегося объёма на вышележащие толщи, а сжатие – частичным освобождением очага от магмы, поднимающейся в пределы земной коры и изливающейся на её поверхность. Причём основной тренд магматизма имел депрессионную направленность. В нём преобладало компенсационное прогибание коры с довольно свободным и массовым излиянием магм на земную поверхность.

Периодические остановки (градиентное внедрение) магм способствовали их конвекционной циркуляции от тыловых к фронтальным частям магматических колонн. Конвекция обеспечивала поступление свежих магм в места замыкания передовой циркуляционной ячейки и накопление в них сульфидной жидкости, формирующей Pt-Cu-Ni месторождения [17, 19].

Как видно, в рассмотренном примере проявления траппового магматизма Сибирской платформы и связанного с ним платино-медно-никелевого рудообразования все происходящие события осуществлялись в основном благодаря воздействиям и градиентам. Их было несколько со своим набором в каждом конкретном случае.

Так, можно полагать, что начало было связано с термическим воздействием верхней части ядра на материал нижней мантии (собственный либо с примесью опустившейся океанической плиты) из-за появления между ними избыточного температурного градиента.

Термическое воздействие привело к появлению расплава, имеющего более низкую плотность, чем окружающая среда, то есть к возникновению плотностного градиента, создающего, в свою очередь, гравитационный градиент. Последний вызывает подъём (всплытие) разуплотнённой высокотемпературной массы, которая вследствие наличия температурного градиента оказывает термическое воздействие на вмещающий материал с образованием расплавов и проявлением магматизма термических плюмов.

В образовании рудоносных магм и формировании Pt-Cu-Ni месторождений (см. рис. 8) существовали свои особенности воздействий и градиентов [17]. Появление сульфидоносных магм (MgO 8–33 масс. %) требовало термического воздействия на вещество мантии, вызывающего его градиентное (фракционное) плавление. Сначала зарождение и вынос из зоны магмообразования наиболее легкоплавкой бессуль-

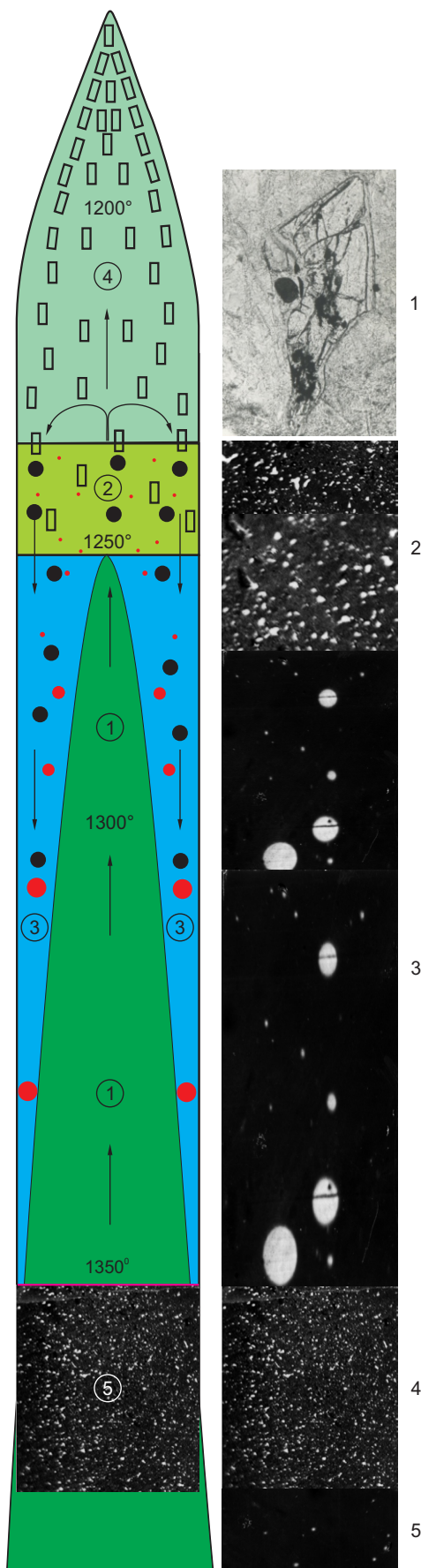
фидной мафической части исходного материала (MgO \leq 8 масс. %). Затем повышение температуры (более высокотемпературное воздействие) в очаге магмообразования с зарождением сульфидоносных магм (в Норильском районе MgO 10–12 масс. %). Далее последовало превращение сульфидоносных магм в рудоносные – концентрация рассеянных сульфидов в субвертикальном интервале магматической колонны (рис. 11). Она осуществлялась по причине наличия продольного температурного градиента в колонне, вызывающего конвекционное движение магмы. И, наконец, тот же температурный градиент и продольная конвекция сульфидоносной магмы в субгоризонтальном канале обеспечивали накопление и локализацию сульфидов с образованием рудных тел и Pt-Cu-Ni месторождений (рис. 12).

Таким образом, обоснование и признание связи магматизма с воздействием на мантийное вещество термического плюма позволяют допускать наличие между ними большого температурного градиента и, следовательно, вероятность высокой степени плавления исходного материала с возможностью зарождения сульфидоносных магм.

Свидетельства о перерывах и остановках при внедрении магм и неперемное существование в них температурного градиента дают основания полагать проявление продольной конвекции, которая могла приводить к накоплению рудного вещества сначала на субвертикальном, а затем на субгоризонтальном участках продвижения магматических колонн.

Из-за зависимости от температуры магмы количества и длительности удержания в ней сульфидного расплава накопление рудного вещества осуществляется только при наличии в системе температурного градиента. На субвертикальном пути внедрения магм накопление сульфидов происходит в высокотемпературной области (в результате опускания сульфидных частиц из более холодной головной части в более горячую тыловую, рис. 11), а на субгоризонтальном – в низкотемпературной (в передовом замыкании циркуляционных ячеек, рис. 12).

Наличие в субгоризонтальной части интрузий температурного градиента обуславливает неизбежность проявления в ней продольной конвекции магмы, а градиентное (с остановками) её продвижение создаёт условия для возникновения нескольких участков замыкания конвекционной ячейки, которые являются местом накопления рудного вещества (см. рис. 12). В результате в субгоризонтальной части сульфидоносных интрузий по их длине создаётся несколько мест концентрации рудного материала, что наблюдается во всех известных рудоносных интрузиях Норильского района (рис. 13). Эти особенности исключительно важны в организации и проведении



оптимальных поисков и разведки платино-медно-никелевых месторождений.

Сведения о природе и возможностях воздействий могут использоваться также для прямой и косвенной оценки перспективности площадей на другие виды полезных ископаемых. Так, например, магнитное поле Земли, воздействуя на её кору, намагничивает (делает магнитными) находящиеся в ней образования, формирующиеся в окислительных условиях. Это даёт возможность с помощью магнитометрии выделять в коре соответствующие магнитные площади, в первую очередь перспективные на богатые магнетитом железорудные месторождения.

Но одновременно эти данные выявляют немагнитные и слабомагнитные территории, для которых характерны восстановительные условия, благоприятные, как показано автором [14, 18, 27], для образования месторождений золота, алмазов, нефти, газов и других полезных ископаемых, независимо от их возраста и происхождения (рис. 14, 15). Количество магнитных полей составляет около половины и более площади континентальной коры. Следовательно, на эту величину можно сократить территории поисков перечисленных полезных ископаемых.

Таким образом, воздействия и градиенты являются основополагающими факторами и главными причинами образования веществ и проявления природных процессов, включая возникновение и существование органического мира. Они различны по своей сути, но всеобщы и непременимы в осуществлении.

Рис. 11. Схема дифференциации магматической колонны и накопления в ней рудного вещества:

цифры в кружках: 1 – «свежая» первичная магма; 2 – зона интрателлурической кристаллизации магмы и начальное выделение и накопление в ней сульфидного расплава; 3 – обратный поток магмы, содержащей выделения протооливина (чёрные кружки) и частиц сульфидной жидкости (красные точки и кружки), стрелками показано направление движения магмы и минеральных фаз; 4 – зона накопления протокристаллического плагиоклаза; 5 – зона накопления сульфидного вещества; колонка справа – реальные соотношения минеральных веществ в природных и синтетических образованиях, которые могли быть проявлены в поднимающейся магматической колонне: 1 – ромбообразное зерно магнезиального протооливина в ассоциации с хромитом (чёрное округлое выделение) и сульфидами (тёмные более мелкие проявления), включённые в среднюю часть крупного кристалла протоплагиоклаза лейкократового габбро интрузии Норильск I (свидетельство наличия и кристаллизации мафических и рудных составляющих, опустившихся вниз поднимающейся магматической колонны) ув. 20; 2–5 – формы выделения сульфидной жидкости (белое) в силикатном расплаве пикритового габбро-долерита, меняющиеся с изменением его температуры (экспериментальные данные автора)

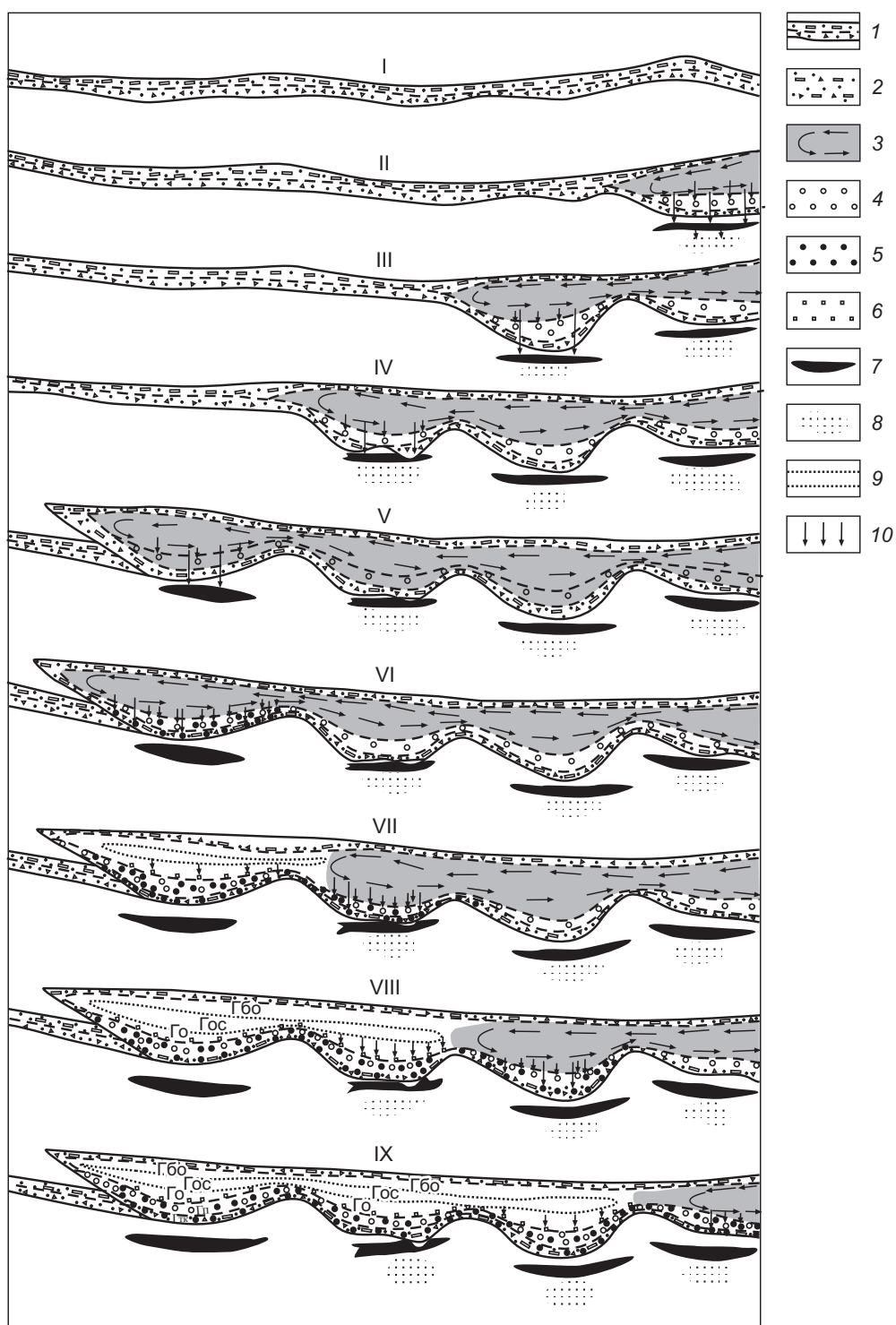


Рис. 12. Схема формирования рудоносных интрузий и связанных с ними платино-медно-никелевых месторождений талнахского типа [17]:

1 – головная кашеобразная часть магматической колонны; 2 – верхние и нижние контактовый и такситовый габбро-долериты; 3 – внедряющаяся и циркулирующая магма; 4 – фенокристы оливина; 5 – выделения сульфидной жидкости; 6 – оливин, выделяющийся при внутрикамерной кристаллизации магмы; 7 – массивные руды; 8 – экзоконтактовое вкрапленное и прожилково-вкрапленное оруденение; 9 – кристаллизующаяся магма; 10 – направления движения кристаллов оливина и выделения сульфидной жидкости; I–IX – этапы внедрения и становления рудоносных интрузий и накопления рудного вещества

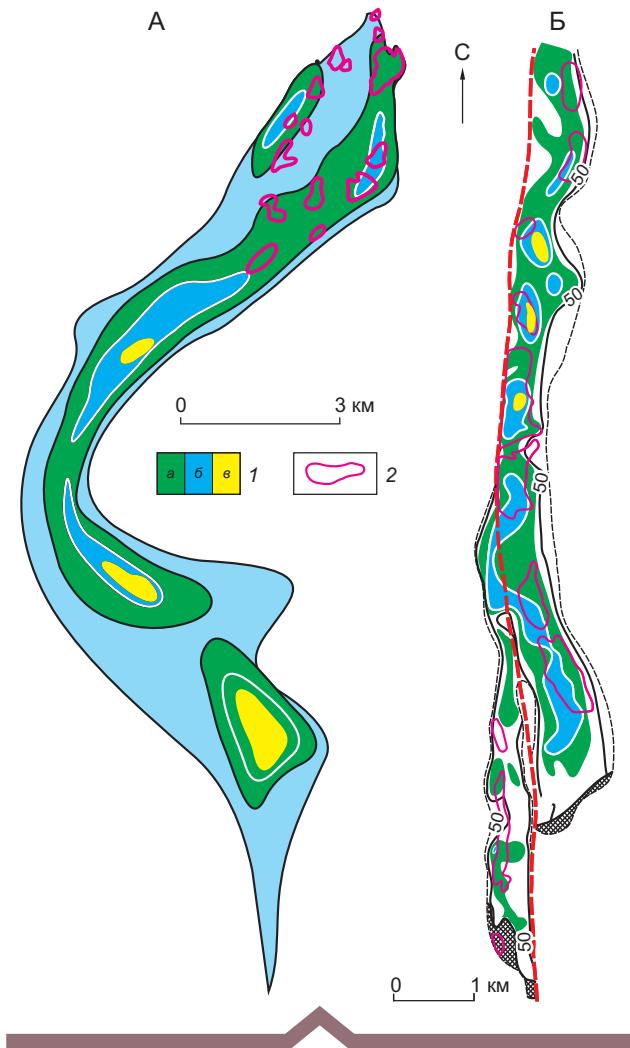
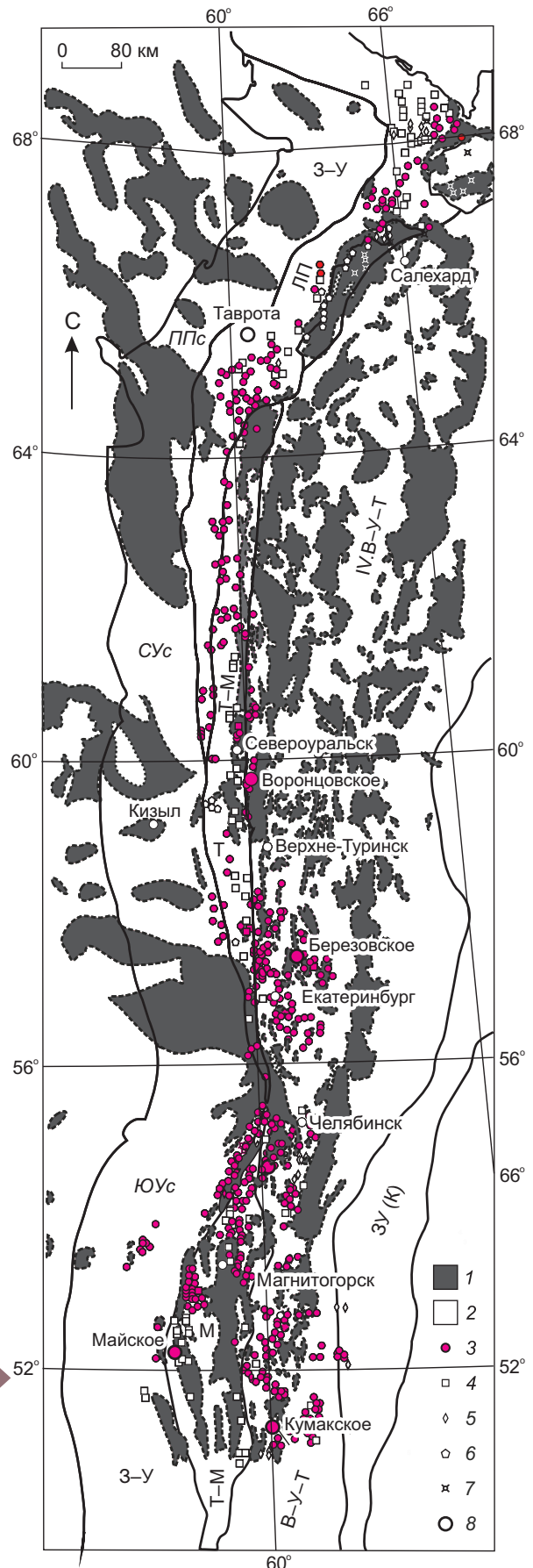


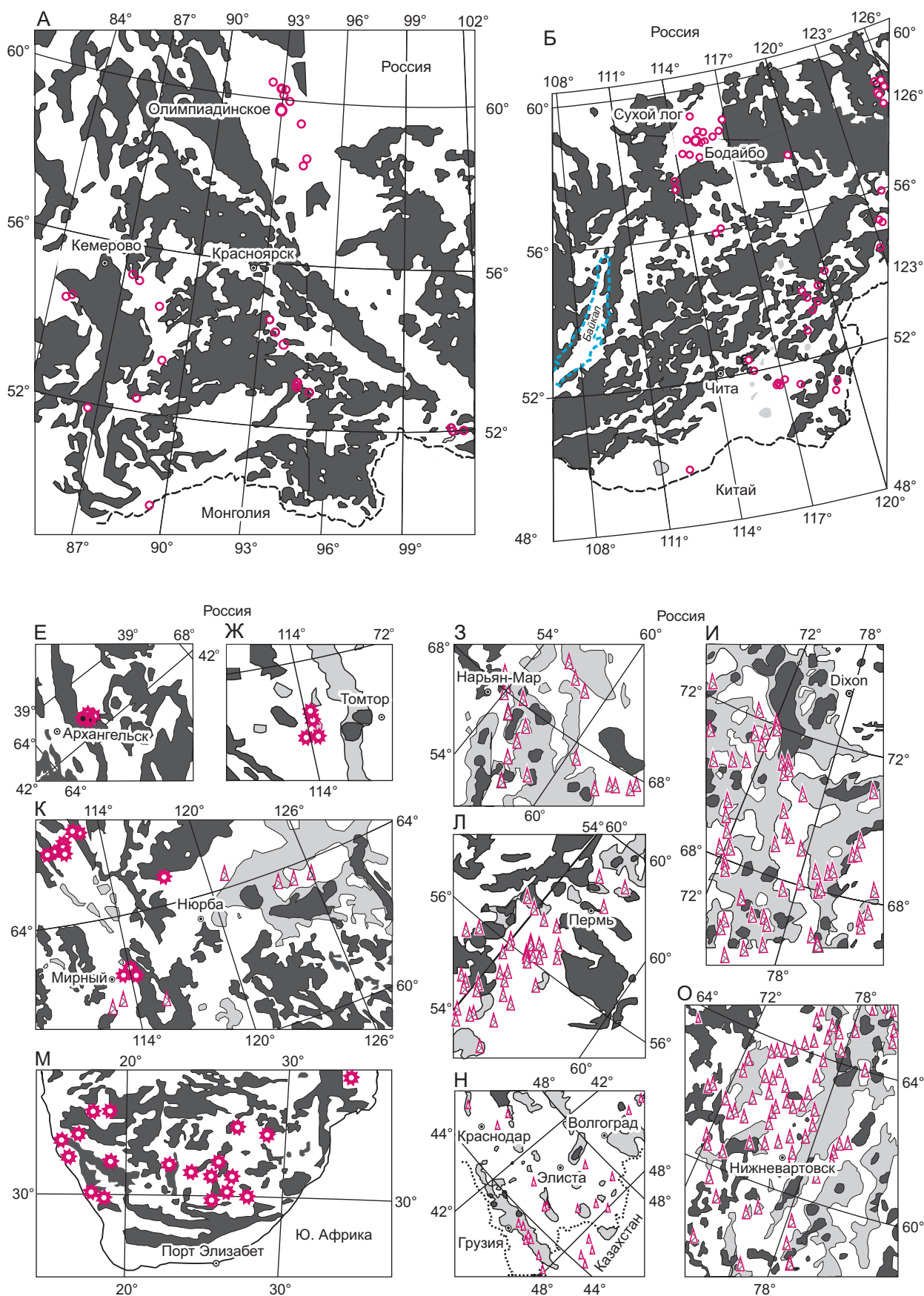
Рис. 13. Изменение мощности и распределение рудного вещества по длине интрузий Норильск I (А) и Талнахская (Б):

1 – участки с мощностью (в м): 100 (а), 200 (б), 300 (в) для интрузии Норильск I и 100 (а), 150 (б), 200 (в) для Талнахской; 2 – контуры массивных руд

Рис. 14. Размещение известных месторождений и рудных проявлений золота и цветных металлов в пределах российской части Уральской складчатой системы:

значения магнитного поля (ΔT , 102нТл), по материалам ВСЕГЕИ: 1 – положительные (1–15), 2 – «нулевые» и отрицательные (1–15); месторождения и рудопоявления [8]: 3 – собственно золоторудные, 4 – золотосодержащие медно-колчеданные и полиметаллические, 5 – медно-порфировые, 6 – медно-золото-платиноидные магматические, 7 – железо-медные скарновые, 8 – некоторые крупные золоторудные; структурно-формационные зоны: 3–У – Западно-Уральская, ЛП – Ляпинско-Полярноуральская, Т–М – Тагило-Магнитогорская (Т – Тагильский, М – Магнитогорский прогибы), В–У–Т – Восточно-Уральская-Тобольская, ЗУ (К) – Зауральская (Кустанайская)





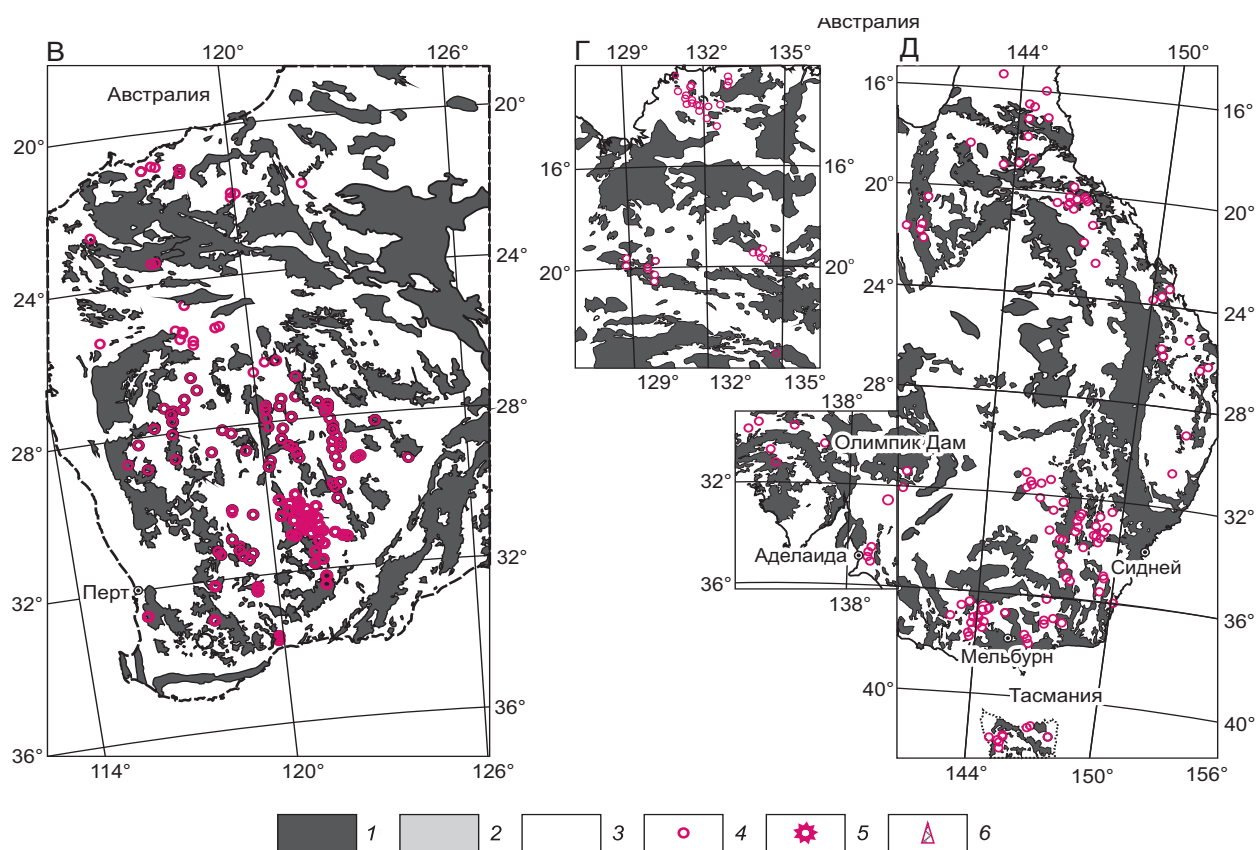


Рис. 15. Размещение месторождений золота, алмазов, нефти и газа в регионах России, Австралии и Африки [2, 3, 14, 18, 23, 24, 27, 29]:

золото: Россия (А, Б), Австралия (В, Г, Д); алмазы: Россия (Е, Ж, К), Южная Африка (М); нефть и газ: Россия (З, И, К, Л, Н, О); значения магнитного поля (ΔТ, нТл): 1 – положительные «магнитные» (50→>2000), 2 – «слабомагнитные» (50–100), 3 – «нулевые» и отрицательные – «немагнитные» (50–>1000); месторождения: 4 – золота, 5 – алмазов, 6 – нефти и газа

Основные выводы состоят в следующем.

1. Главными причинами образования веществ и проявления природных процессов являются «воздействия» и «градиенты». Воздействия нарушают состояние систем, приводят к появлению градиентов, а градиенты вызывают проявление процессов, направленных на восстановление нарушенного или к возникновению нового состояния. Без воздействий и градиентов нет движений, без движений нет процессов, а без процессов нет веществ.

2. Первоначальным было воздействие на космическое пространство Большого взрыва, вызванного появлением градиента в тёмной энергии.

3. Воздействия обычно связаны с внешним источником, оказывающим то или иное влияние на систему веществ, выводящее из свойственного ей на данный момент состояния. Подвергающаяся воздействию си-

стема чаще всего реагирует переходом в новое состояние: механическим разрушением, плавлением, испарением, растворением, минеральным и химическим замещениями (метаморфизмом), перемещением в пространстве.

4. Масштабность воздействия определяется массой и энергией источника, его температурой, давлением и продолжительностью. Зная количественные характеристики воздействий и градиентов, можно судить о продуктивности процессов, например, о возможной величине месторождений полезных ископаемых.

5. Исследования роли и значения воздействий и градиентов в образовании веществ и проявлении природных процессов позволяют решать важные научные и практические вопросы, касающиеся всех сфер материального мира.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годлевский М. Н.* Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. – 68 с.
2. *Карта* аномального магнитного поля России и прилегающих акваторий (ΔT)_a масштаба 1:5000 000. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2004.
3. *Карта* полезных ископаемых Российской Федерации масштаба 1:5000 000. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007.
4. *Кеннеди Дж. Р., Рыженко Б. Н.* Влияние давления на эвтектики в системах Fe–FeS // Геохимия. – 1973. – № 9. – С. 1392–1396.
5. *Кривошуккая Н. А.* Эволюция траппового магматизма и Pt–Cu–Ni рудообразование в Норильском районе. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2014. – 315 с.
6. *Кузнецов В. В.* Физика горячей Земли. – Новосибирск: ИГиГ, 2000. – 365 с.
7. *Кузнецов В. В.* Физика Земли и Солнечной системы. – Новосибирск: ИГиГ, 1990. – 217 с.
8. *Курбанов Н. К., Ревякин П. С., Кучеревская П. Г.* и др. Золотоносность Урала (объяснительная записка к карте коренной золотоносности Урала масштаба 1:1 000 000) // Науч. редакторы А. И. Кривцов и Н. К. Курбанов. – М.: ЦНИГРИ, 2005.
9. *Лихачев А. П.* Возможности самообогащения рудным веществом и тяжелым изотопом серы (³⁴S) мантийных магм, формирующих Pt–Cu–Ni месторождения и перспективное место для локализации руд в Норильском районе // Отечественная геология. – 2019. – № 3. – С. 32–49.
10. *Лихачев А. П.* Возможные причины и условия тесной ассоциации золота с сульфидами и кварцем // Отечественная геология. – 2016. – № 2. – С. 41–52.
11. *Лихачев А. П.* К вопросам образования, поведения и фракционирования химических элементов, их изотопов и минералов в природных процессах // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 80–93.
12. *Лихачев А. П.* Непроизвольная сущность геологических и других природных процессов и определяющая роль воды в их проявлении // Отечественная геология. – 2018. – № 6. – С. 67–76.
13. *Лихачев А. П.* О поведении химических элементов в магматических и гидротермальных процессах // ЗВМО. – 1975. – Вып. 6. – С. 649–663.
14. *Лихачев А. П.* Общая закономерность размещения месторождений золота по глубинным геофизическим данным // Отечественная геология. – 2012. – № 6. – С. 13–29.
15. *Лихачев А. П.* Переотложение рудогенных и петрогенных компонентов водными растворами // Геохимия. – 1975. – № 10. – С. 1459–1474.
16. *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.
17. *Лихачев А. П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006. – 496 с.
18. *Лихачев А. П.* Причины и условия существования магнитных и немагнитных полей земной коры, определяющих формирование и размещение месторождений золота, алмазов, нефти, газа и других полезных ископаемых // Отечественная геология. – 2013. – № 6. – С. 40–50.
19. *Лихачев А. П.* Специфические особенности норильских рудоносных интрузий, их природа и определяющее значение в открытии Pt–Cu–Ni месторождений // Отечественная геология. – 2019. – № 5. – С. 36–52.
20. *Наумов Г. Б., Рыженко Б. Н., Ходаковский И. Л.* Справочник термодинамических величин. – М.: Атомиздат, 1971.
21. *Andersen O.* The system anortite – forsterite – silica // Am. Journ. Sci. 1915. Ser. 4. V. 39. P. 407.
22. *Bowen N. L., Schairer J. F.* The system MgO–FeO–SiO₂ // American Journal of Science. – 1935. – Ser. 5. – V. 29. – P. 197.
23. *Geology of Australian ore deposits* // Publ. 5th Min. and Metall. Congress, Australian and New Zealand. – 1953. – V. 1.
24. *Geology of Australian ore deposits.* 2-nd ed. Eighth Commonw. Min. and Metall. Australian and New Zealand. Melbourn. – 1965. – V. 1.
25. *Hakli T. A.* An attempt to apply the Makaopuhi nickel fractionation data to the temperature determination of a basic intrusive // ISSN: 0016-7037 Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1968. – V. 32. – P. 449–460.
26. *Likhachev A. P.* Redeposition of ore-producing and petrogenetic components by aqueous solutions // Geochemistry Internat. – 1975. – V. 12. – P. 101–113.
27. *Likhachev A. P.* General patterns in the distribution of gold and diamonds deposits, oil and gas fields, and accumulations of other minerals / Abstracts 35th international geological congress, cape town, S. A., 2016. Paper Number: 1850.
28. *Likhachev A. P.* Terrestrial planets as solid relicts (core) of conventional predominantly gas planets, lost the primary gas component under the influence of the shock wave produced during the initial outbreak of the stars / Abstracts 36th international geological congress. – Delhi, India., 2020. Paper Number: 872.
29. *Magnetic anomaly map of Australia*, scale 1:5000 000 // Australia Government, 2004. Produced by Geoscience Australia.
30. *Sharp W. E.* Melting curves of sphalerite, galena, and pyrrhotite and decomposition curve of pyrite between 30–65 kilobars // Journal of Geophysical Research. – 1969. – V. 74. – No. 6. – P. 1646–1652.
31. *Sobolev A. V., Hofmann A. W., Kuzmin D. V.* et al. The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts // Science Reprint. – 2007. – V. 316. – H. 412–417.
32. *Wyllie P. J.* Experimental limits for melting in the Earth's crust and upper mantle // Geophys. Monog. Ser. – 1971. 14. – P. 279–301.

REFERENCES

1. *Godlevskiy M. N.* Trappy i rudonosnyye intruzii Noril'skogo rayona [Traps and ore-bearing intrusions of the Noril'sk region], Moscow, Gosgeoltekhizdat publ., 1959, 68 p. (In Russ.).
2. *Karta anomal'nogo magnitnogo polya Rossii i prilegayushchikh akvatoriy (ΔT) a masshtaba 1:5000 000* [Map of the anomalous magnetic field of Russia and adjacent water areas (ΔT) at a scale of 1: 5 000 000], Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2004. (In Russ.).
3. *Karta poleznykh iskopayemykh Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:5 000 000* [Map of minerals of the Russian Federation on a scale of 1: 5 000 000], Saint Petersburg, VSEGEI publ., 2007. (In Russ.).
4. *Kennedi Dzh. R., Ryzhenko B. N.* Vliyaniye davleniya na evtetiki v sistemakh Fe–FeS [Influence of pressure on eutectics in Fe – FeS systems], *Geokhimiya*, 1973, No. 9, P. 1392–1396. (In Russ.).
5. *Krivolutskaya N. A.* Evolyutsiya trappovogo magmatizma i Pt-Cu-Ni rudoobrazovaniye v Noril'skom rayone [Evolution of trap magmatism and Pt-Cu-Ni ore formation in the Noril'sk region], Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK publ., 2014, 315 p. (In Russ.).
6. *Kuznetsov V. V.* Fizika goryachey Zemli [Physics of the Hot Earth], Novosibirsk, IGI G publ., 2000, 365 p. (In Russ.).
7. *Kuznetsov V. V.* Fizika Zemli i Solnechnoy sistemy [Physics of the Earth and the Solar System], Novosibirsk, IGI G publ., 1990, 217 p. (In Russ.).
8. *Kurbanov N. K., Revyakin P. S., Kucherevskaya P. G.* et al. Zolotonosnost' Urala (ob'yasnitel'naya zapiska k karte Korennoy zolotonosnosti Urala masshtaba 1:1 000 000) [Gold content of the Urals (explanatory note to the map of the indigenous gold content of the Urals on a scale of 1:1 000 000)], Nauch. redaktory A. I. Krivtsov i N. K. Kurbanov. Moscow, TSNIGRI publ., 2005. (In Russ.).
9. *Likhachev A. P.* Vozmozhnosti samoobogashcheniya rudnym veshchestvom i tyazhelym izotopom sery (34S) mantiynykh magm, formiruyushchikh Pt-Cu-Ni mestorozhdeniya i perspektivnoye mesto dlya lokalizatsii rud v Noril'skom rayone [Possibilities of self-enrichment with ore matter and heavy sulfur isotope (34S) of mantle magmas that form Pt-Cu-Ni deposits and a promising place for localization of ores in the Noril'sk region], *Otechestvennaya geologiya*, 2019, No. 3, P. 32–49. (In Russ.).
10. *Likhachev A. P.* Vozmozhnyye prichiny i usloviya tesnoy assotsiatsii zolota s sul'fidami i kvartsem [Possible causes and conditions of close association of gold with sulfides and quartz], *Otechestvennaya geologiya*, 2016, No. 2, P. 41–52. (In Russ.).
11. *Likhachev A. P.* K voprosam obrazovaniya, povedeniya i fraktsionirovaniya khimicheskikh elementov, ikh izotopov i mineralov v prirodnykh protsessakh [On the formation, behavior and fractionation of chemical elements, their isotopes and minerals in natural processes], *Otechestvennaya geologiya*, 2017, No. 6, P. 80–93. (In Russ.).
12. *Likhachev A. P.* Neproizvol'naya sushchnost' geologicheskikh i drugikh prirodnykh protsessov i opredelyayushchaya rol' vody v ikh proyavlenii [The involuntary essence of geological and other natural processes and the determining role of water in their manifestation], *Otechestvennaya geologiya*, 2018, No. 6, P. 67–76. (In Russ.).
13. *Likhachev A. P.* O povedenii khimicheskikh elementov v magmaticheskikh i gidrotermal'nykh protsessakh [On the behavior of chemical elements in magmatic and hydrothermal processes], *ZVMO*, 1975, Is. 6, P. 649–663. (In Russ.).
14. *Likhachev A. P.* Obshchaya zakonmernost' razmeshcheniya mestorozhdeniy zolota po glubinnym geofizicheskim dannym [General regularity of the location of gold deposits according to deep geophysical data], *Otechestvennaya geologiya*, 2012, No. 6, P. 13–29. (In Russ.).
15. *Likhachev A. P.* Pereotlozheniye rudogennykh i petrogenykh komponentov vodnymi rastvorami [Redeposition of ore and petrogenic components by aqueous solutions], *Geokhimiya*, 1975, No. 10, P. 1459–1474. (In Russ.).
16. *Likhachev A. P.* Planety zemnoy gruppy kak tverdye ostatki (yadra) obychnykh preimushchestvenno gazovykh planet, poteryavshikh gazovuyu sostavlyayushchuyu pri pervonachal'noy vspyshke Solntsa [Planets of the terrestrial group as solid remnants (cores) of ordinary, predominantly gaseous planets that have lost their gas component during the initial solar flare], *Otechestvennaya geologiya*, 2014, No. 3, P. 89–100. (In Russ.).
17. *Likhachev A. P.* Platino-medno-nikelevyye i platinovyye mestorozhdeniya [Platinum-copper-nickel and platinum deposits], Moscow, Eslan publ., 2006, 496 p. (In Russ.).
18. *Likhachev A. P.* Prichiny i usloviya sushchestvovaniya magnitnykh i nemagnitnykh poley zemnoy kory, opredelyayushchikh formirovaniye i razmeshcheniye mestorozhdeniy zolota, almazov, nefi, gaza i drugikh poleznykh iskopayemykh [Reasons and conditions for the existence of magnetic and non-magnetic fields of the earth's crust, which determine the formation and placement of deposits of gold, diamonds, oil, gas and other minerals], *Otechestvennaya geologiya*, 2013, No. 6, P. 40–50. (In Russ.).
19. *Likhachev A. P.* Spetsificheskiye osobennosti noril'skikh rudonosnykh intruziy, ikh priroda i opredelyayushcheye znachenie v otkrytii Pt-Cu-Ni mestorozhdeniy [Specific features of the Noril'sk ore-bearing intrusions, their nature and decisive importance in the discovery of Pt-Cu-Ni deposits], *Otechestvennaya geologiya*, 2019, No. 5, P. 36–52. (In Russ.).
20. *Naumov G. B., Ryzhenko B. N., Khodakovskiy I. L.* Spravochnik termodinamicheskikh velichin [Handbook of thermodynamic quantities], Moscow, Atomizdat publ., 1971. (In Russ.).
21. *Andersen O.* The system anortite – forsterite – silica. *Am. Journ. Sci.* 1915, Ser. 4, Vol. 39, P. 407.
22. *Bowen N. L., Schairer J. F.* The system MgO–FeO–SiO₂, *American Journal of Science*, 1935, Ser. 5, Vol. 29, P. 197.
23. *Geology of Australian ore deposits.* Publ. 5th Min. and Metall. Congress, Australian and New Zealand. 1953. Vol. 1.
24. *Geology of Australian ore deposits,* 2-nd ed. Eighth Commonw, Min. and Metall, Australian and New Zealand, Melbourne, 1965, Vol. 1.
25. *Hakli T. A.* An attempt to apply the Makaopuhi nickel fractionation data to the temperature determination of a basic intrusive. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1968, V. 32, P. 449–460.

26. *Likhachev A. P.* Redeposition of ore-producing and petrogenetic components by aqueous solutions, *Geochemistry Internat*, 1975, V. 12, P. 101–113.
27. *Likhachev A. P.* General patterns in the distribution of gold and diamonds deposits, oil and gas fields, and accumulations of other minerals, Abstracts 35th international geological congress, cape town, S. A., 2016, Paper Number, 1850.
28. *Likhachev A. P.* Terrestrial planets as solid relicts (core) of conventional predominantly gas planets, lost the primary gas component under the influence of the shock wave produced during the initial outbreak of the stars, Abstracts 36th international geological congress, Delhi, India, 2020, Paper Number, 872.
29. *Magnetic anomaly map of Australia*, scale 1:5 000 000, Australia Government, 2004, Produced by Geoscience Australia.
30. *Sharp W. E.* Melting curves of sphalerite, galena, and pyrrhotite and decomposition curve of pyrite between 30–65 kilobars, *Journal of Geophysical Research*, 1969, Vol. 74, No. 6, Pp. 1646–1652.
31. *Sobolev A. V., Hofmann A. W., Kuzmin D. V. et al.* The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts, *Science Reprint*, 2007, V. 316, H. 412–417.
32. *Wyllie P. J.* Experimental limits for melting in the Earth's crust and upper mantle, *Geophys. Monog. Ser.*, 1971, 14, P. 279–301.

Плата с авторов за публикацию (в том числе с аспирантов) не взимается. Гонорар не выплачивается.

Автор, подписывая статью и направляя ее в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на ее опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».

Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или намеченных к публикациям в других изданиях, не допускается.