

# РАННЯЯ ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ УНИКАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ДРЕВНИХ ПЛАТФОРМАХ



**В. С. Шкодзинский**

DOI: 10.24411/1728-516X-2019-10011



**Владимир Степанович  
Шкодзинский,**

*доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, г. Якутск*

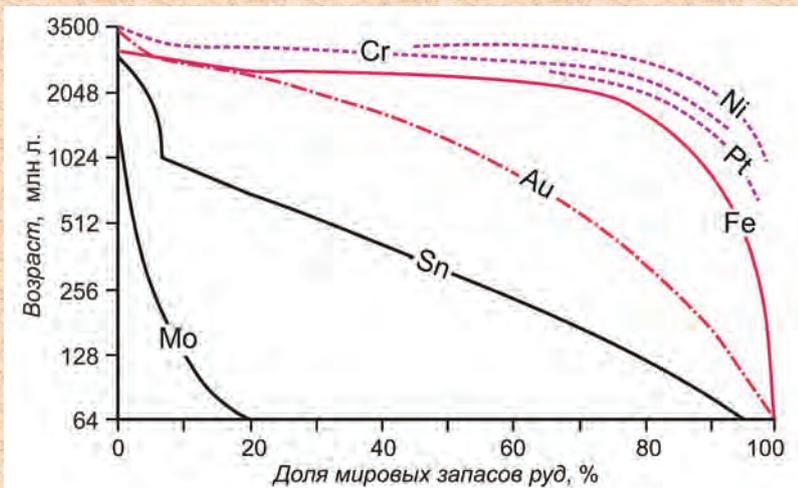
Уникально крупные и богатые рудные месторождения давно привлекают внимание исследователей, так как их разработка позволяет добывать полезные ископаемые с наименьшими затратами труда и средств. Для успешного прогноза и поиска таких месторождений очень важно знать их происхождение. Но эта проблема до последнего времени не была решена, поскольку для большинства этих месторождений характерны загадочные особенности, не понятные с позиций господствующих представлений. Такие месторождения обычно расположены на древних платформах, на которых тектонические и магматические процессы имеют минимальную интенсивность в течение последнего миллиарда лет. Большинство из них очень древние – их возраст составляет более 2 млрд лет (линии Fe, Pt, Cr, Ni на рис. 1), что позволяет предпо-

лагать очень высокую интенсивность протекания рудообразующих процессов в далёком прошлом. Но природа их высокой интенсивности оставалась непонятной с позиций господствовавшей гипотезы холодного образования Земли.

Все особенности уникальных месторождений получили объяснение на основе полученных в последние годы доказательств горячего формирования нашей планеты. Оказалось, что кристаллические породы земной коры и мантии имеют многочисленные признаки формирования в результате процессов кристаллизации океана магмы глубиной около 250 км [2]. Только при существовании магматического океана получают полное объяснение все особенности геосфер и магматических горных пород. Дифференциация и кристаллизация гигантского объёма магмы

---

*На фото сверху – примерно так выглядела поверхность Земли в первые полмиллиарда лет после её формирования (<https://www.google.ru/search?q>)*



**Рис. 1. Распределение мировых запасов руд различных металлов в месторождениях разного возраста (по [1], с добавлениями)**

сопровождалась процессами концентрации в остаточных расплавах и газах рудных компонентов и выносом их в формировавшуюся раннюю земную кору. Подъём огромных объёмов расплавов магматического океана и их кристаллизация также приводили к образованию крупных месторождений.

К наиболее уникальным относятся месторождения раннедокембрийских железистых кварцитов. Они присутствуют в большом количестве на всех древних платформах. В них обнаружены огромные запасы железа. Например, в Курской магнитной аномалии они оцениваются в триллионы тонн. Это несопоставимо больше, чем запасы в миллионы тонн, характерные обычно для фанерозойских (моложе 0,5 млрд лет) месторождений этого металла. Суммарная мощность пластов железистых кварцитов на месторождении иногда бывает больше километра. В них тонкие прослои кварцита (обычно толщиной несколько миллиметров) чередуются с прослоями, сложенными соединениями железа с кислородом – магнетитом и гематитом.

Непонятен источник огромного количества железа и кремнекислота в этих месторождениях. В них обычно отсутствуют признаки генетической связи с какими-либо конкретными магматическими телами. Чаще всего предполагается, что кремнекислота и железо привносились из выветривавшихся вмещающих пород. Однако эти породы не имеют признаков протекания грандиозных процессов выветривания, сопоставимых по масштабам с процессами отложения железных руд.

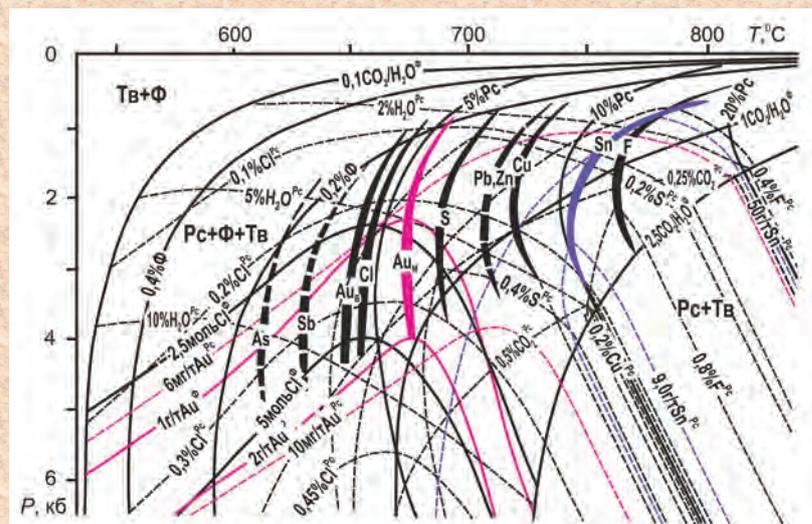
Иногда предполагаемой связи процессов их образования с гидротермальной деятельностью древних вулканов

(с выделением из них рудоносных растворов) противоречит отсутствие признаков существования вулканов на месторождениях. Не ясна и причина нехарактерности таких мощных процессов образования железных руд для фанерозоя.

Очевидно, что гигантская по масштабам кристаллизация магматического океана глубиной около 250 км должна была сопровождаться выносом из него рудоносными растворами огромного количества кремнекислота и железа. Рассчитанная по опубликованным экспериментальным данным P-T диаграмма распределения рудных и летучих компонентов в кислых магмах (рис. 2) иллюстрирует, что концентрация рудных компонентов в их остаточных расплавах и выделявшихся растворах возрастала по мере кристаллизации. Поэтому

первыми формировали месторождения компоненты с изначально высокими концентрациями в магмах. К таковым относятся железо и кремнекислота. Это объясняет очень древний возраст подавляющего большинства месторождений железистых кварцитов. Их изотопный возраст варьирует обычно от 3,8 до 1,8 млрд лет [2].

До настоящего времени была непонятной очень высокая окисленность железа в месторождениях железистых кварцитов. Известно, что присутствие в древнейших осадочных породах окатанных легко окисляющихся зёрен пирита и уранинита указывает на бедность ранней атмосферы кислородом. Между тем главные железосодержащие минералы рассматриваемых месторождений, магнетит и гематит, содержат очень большое количество кислорода. Высокая окисленность железа



**Рис. 2. P-T диаграмма распределения рудных и выносящих их летучих компонентов во фракционирующих кислых магмах [2]. Рс – расплав, Тв – твёрдые фазы, Ф – флюидная (газовая) фаза**

свидетельствует о невозможности осадочного происхождения железистых кварцитов. Но она вполне согласуется и с их гидротермальной природой, поскольку известно, что гематит и магнетит являются обычными минералами гидротермально изменённых пород. Поэтому они должны были кристаллизоваться и из эманаций, отделившихся из океана магмы.

Другим продуктом гидротермальной деятельности глобального магматического процесса являются золоторудные и другие стратиформные (залегающие согласно с осадочными толщами) месторождения, широко распространённые в слабо метаморфизованных породах. Наиболее уникальным является золото-урановое месторождение Витватерсранд в Африке. Как и в железорудных месторождениях, поражают гигантские запасы в нём рудного компонента. Если фанерозойские месторождения считаются уникально крупными при запасах золота около тысячи тонн, то на месторождении Витватерсранд к настоящему времени его добыто уже около сорока тысяч тонн, а оставшиеся запасы оцениваются в десятки тысяч тонн. Из него извлечено около 40 % золота, добытого человечеством. Золото в основном содержится в прослоях конгломератов среди песчанико-сланцевых толщ.

В настоящее время наиболее распространёнными являются гипотезы россыпного (возникшего путём механического разрушения золотосодержащих коренных пород) и гидротермального генезиса золота этого месторождения. Отсутствие в кристаллическом фундаменте коренных золотоносных тел, которые могли бы быть источником россыпного золота, наличие признаков замещения золотом окаменелых микроводорослей и значительная (до 4 %) примесь ртути в золоте свидетельствуют в пользу гидротермальной гипотезы. Однако в этой гипотезе остаются непонятными причины гигантского количества золота в месторождении и отсутствия подобных месторождений в фанерозойских породах. Образование из эманаций огромного магматического океана объясняет эти особенности.

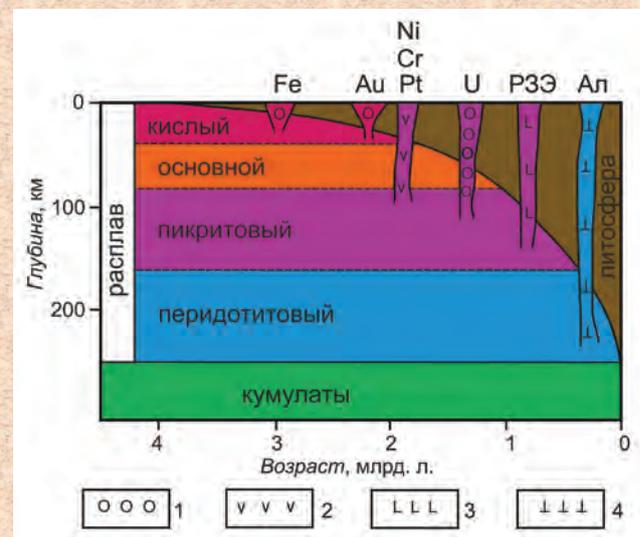
Как иллюстрирует рис. 2, в процессе кристаллизации магм содержание рудных и выносящих их летучих компонентов в остаточных расплавах растут до тех пор, пока в них не начинают формироваться фазы-концентраторы этих компонентов. Чем меньше содержание рудного компонента в первичных магмах, тем больше должны быть глубина и степень кристаллизации магм для достижения высокого его содержания в остаточных расплавах и отделяющихся гидротермах. Концентрация золота в кислых магмах очень мала – обычно первые миллиграммы на тонну. Поэтому богатые им гидротермы формировались лишь в поздно затвердевавших относительно глубинных частях кислого слоя магматического океана (рис. 3). Это объясняет более молодой в среднем возраст месторождения (около 1,9 млрд лет) по сравнению с железистыми кварцитами (в среднем 2,8 млрд лет).

Ещё одним продуктом эманационной дифференциации океана магмы являются урановые месторождения типа «несогласия». Наиболее крупные из них на-

ходятся в Северной Австралии и Канаде в провинциях Саскачеван и Северо-Западных территорий. Для них характерен контроль оруденения поверхностями стратиграфического несогласия между раннепротерозойским фундаментом и осадочным чехлом и связь с крупными тектоническими нарушениями. Наиболее уникальным является месторождение Мак-Артур-Ривер в Канаде. Его подтверждённые запасы на январь 2001 г. составляли 161 300 т  $U_3O_8$  при среднем содержании 21 % [3], а в зоне вторичного обогащения на месторождении Раббит-Лейк – 82 %. Это уникально высокие содержания, если учесть, что на месторождениях других генетических типов они обычно составляют десятки доли процента.

Месторождения расположены под перекрывающей осадочной формацией Атабаска и в её нижней части. Её возраст – ранний и средний рифей (1,5–1 млрд лет). Следовательно, урановое оруденение должно быть ещё моложе. Такой молодой возраст обусловлен небольшими концентрациями урана в первичных магмах. Поэтому высокоурановые гидротермы возникали в глубинных частях магматического океана, которые кристаллизовались наиболее поздно. Высокое содержание никеля и кобальта в рудах указывает на возникновение ураноносных гидротерм в остаточных расплавах пикритового слоя магматического океана на глубине, видимо, многие десятки километров (см. рис. 3). Рудносные эманации поднимались по зонам тектонических нарушений в земной коре. Это объясняет связь с ними месторождений.

Образование месторождений лишь в отдельных участках раннедокембрийской коры свидетельствует о существовании локальных областей, благоприятных



**Рис. 3. Схема кристаллизации слоистого океана магмы и образования различных рудных месторождений.**

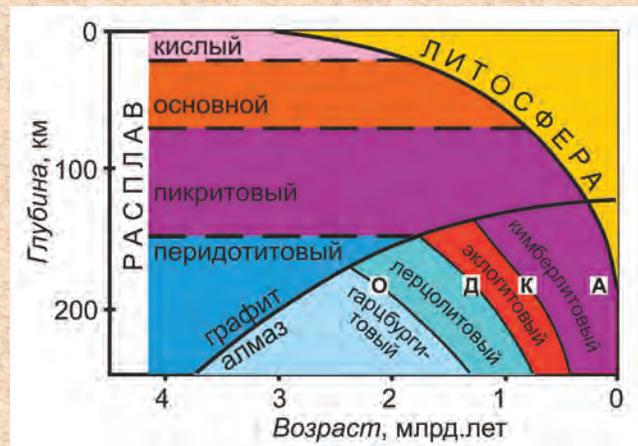
1–4 – подъем рудоносных газовых эманаций (1), мафических магм (2), редкоземельных карбонатитовых расплавов (3), алмазоносных (Ал) кимберлитовых магм (4)

для подъёма и разгрузки рудоносных гидротерм. На ранней стадии благоприятными для их подъёма, видимо, были наименее закристаллизованные части магматического океана, в которых выделявшиеся из расплава флюиды могли легко всплывать в большом количестве. Такие участки в верхнем кислом слое магматического океана были представлены скоплениями кислых остаточных расплавов. Это объясняет приуроченность ранних месторождений в основном к гранитогнейсовым областям и их нетипичность для гранулитогнейсовых областей.

Расчёты [2] свидетельствуют, что после затвердевания верхнего кислого слоя магматического океана его плотность становилась больше, чем ещё жидких подстилавших основного и пикритового слоёв магматического океана. Это приводило к всплыванию из них в земную кору огромных объёмов мафических (богатых магнием) расплавов. Данное явление объясняет формирование на ранних стадиях эволюции древних платформ очень крупных интрузий основных и ультраосновных магматических пород. Например, крупнейший Бушвельдский комплекс с возрастом 2 млрд лет в Африке обнажается на площади около 66 000 км<sup>2</sup>. Дифференциация при кристаллизации таких комплексов приводила к образованию крупных месторождений платины, хрома, никеля. Это объясняет очень раннее образование крупных месторождений этих металлов в истории Земли (рис. 1). Например, Бушвельдский комплекс содержит более 80 % мировых запасов платины.

Дифференциация с накоплением рудных компонентов в остаточных расплавах происходила и в глубинных слоях магматического океана. Особенно интенсивно накапливались очень расплавофильные (концентрирующиеся преимущественно в расплавах) редкие и редкоземельные элементы. Подъём таких расплавов приводил к образованию крупных месторождений этих элементов. Такое происхождение имеют редкоземельные карбонаты месторождения Томтор в Якутии и подобные месторождения в других регионах.

Затвердевание наиболее глубинного перидотитового слоя магматического океана сопровождалось образованием кимберлитовых остаточных расплавов (рис. 4) вследствие накопления в них углекислоты, воды и других расплавофильных компонентов. Отсадка породообразующих минералов приводила к возникновению гарцбургитовых, перциолитовых, пироксенитовых и эклогитовых расплавов и кумулатов, что объясняет постоянное присутствие ксенолитов этих пород в кимберлитах. Возрастание концентрации углерода в остаточных расплавах обусловило кристаллизацию в них алмазов. Увеличение вязкости остаточных расплавов, вследствие накопления в них кремнекислоты, глинозёма и соединений других многозарядных элементов, вызывало уменьшение скорости диффузии угле-



**Рис. 4. Последовательность изменения состава остаточных расплавов перидотитового слоя магматического океана, кристаллизации пород различных ксенолитов в кимберлитах и разных алмазов:**  
 О – октаэдрических, Д – ромбододекаэдрических, К – кубических, А – агрегатов

рода и увеличение степени пересыщения им расплавов. Это обусловило смену послыюного роста алмазов радиальным и эволюцию октаэдрической морфологии образующихся кристаллов на ромбододекаэдрическую и кубическую. Медленное остывание придонного перидотитового слоя магматического океана является причиной позднего образования кимберлитов – в среднем 236 млн лет назад [2].

Таким образом, все известные, казалось бы, загадочные особенности уникальных месторождений на древних платформах объясняются ведущей ролью магматического океана в их образовании. Это позволяет выделить в классификации рудных месторождений большой новый генетический класс, обусловленный существованием в прошлом на Земле глобального магматического океана.

#### Список литературы

1. Laznicka, P. (1973) Development of nonferrous metal deposits in geological time / P. Laznicka // *Canad. J. Earth Sci.* V. 10. № 1. P. 17–28.
2. Шкодзинский, В. С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли / В. С. Шкодзинский. – Якутск : Изд-во СВФУ, 2018. – 244 с.
3. Истомин, И. Н. К проблеме поисков месторождений урана в Якутии / И. Н. Истомин [и др.] // *Вестник Госкомгеологии Якутии*. – 2003. – № 2. – С. 3–27.