

## МАНТИЙНО-КОРОВЫЕ РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

**А.Ф. Коробейников**

*Томский политехнический университет, 634050, Томск, пр. Ленина, 30, Россия*

Рассматривается пульсационно-эстафетная концепция развития минералообразующих процессов, приводящих к концентрации благородных металлов в земной коре. Показано, что формирование наиболее крупных золоторудных и комплексных золото-платиноидных месторождений происходило при активном участии глубинных металлоносных магмо-термофлюидодинамических систем как продуктов плюмтектоники, палеодиапиризма и глубинного метасоматизма.

*благородные металлы, мантийно-коровые рудообразующие системы, рудно-метасоматическая зональность*

## MANTLE-CRUSTAL ORE-FORMING SYSTEMS OF PRECIOUS METALS

**A.F. Korobeinikov**

The article discusses the concept of relay-pulsating development mineralizing processes leading to the concentration of precious metals in the Earth's crust. It is shown that the formation of the largest gold and gold-complex platinoid deposits occurred with the active participation of deep magma-metalliferous thermofluidodynamical systems as products tectonics of plium, diapirism and deep metasomatism.

*precious metals, mantle-crustal ore-forming systems, ore-metasomatic zoning*

Феликс Николаевич Шахов активно разрабатывал вопросы магматизма и геохимии благородных металлов в магматических и контактово-метасоматических процессах [10–12]. Автор данной статьи, основываясь на пульсационной гипотезе [6, 9], предлагает новую концепцию пульсационно-эстафетного развития глубинных минералообразующих процессов, приводящих к концентрации благородных металлов в земной коре [3].

Золотоносные рудные районы, рудные поля и месторождения размещаются в следующих региональных складчато-разрывных структурах: 1) зеленокаменных поясах и наложенных прогибах древних платформ и плит (Сибирская платформа и Западно-Сибирская плита); 2) протерозой-фанерозойских складчатых поясах, обрамляющих с юго-запада Сибирскую платформу, а с запада – Западно-Сибирскую плиту; 3) краевых вулканоплутонических поясах Восточной Сибири и Средней Азии; 4) зонах тектономагматической активизации платформ и складчатых поясов; 5) шовных тектонических структурах. В таких условиях находятся золоторудные и золотоплатиновые рудные объекты (Сухой Лог, Олимпиадинское, Бакырчик, Кумтор, Мурунтау, Березовское, Воронцовское и др.). Здесь, кроме золота, проявилась платиноидная минерализация прожилково-вкрапленного типа, возможно промышленного значения [4]. Такие комплексные рудные объекты возникали при процессах мантийного и внутрикорового метасоматизма и магматизма. В результате взаимодействия глубинных высоконагретых металлоносных флюидопотоков разного состава и состояния при взаимодействии с разнородными породами литосферы возникали специфические

минералообразующие системы в каждом земном слое, что обеспечивалось пульсационно-эстафетной динамикой эндогенных процессов. В мантии осуществлялось преобразование этих слоев с возникновением металлоносных магмо-термофлюидодинамических систем. Широко проявленный внутримантийный термофлюидный метасоматизм (как продукт дегазации внешнего ядра и нижней мантии планеты) обеспечивал перераспределение, экстракцию, вынос и стягивание благородных металлов во флюидные потоки.

Доказательством такой модели послужили результаты исследования распределения золота в метасоматизированных глубинных включениях ультрамафитов в кимберлитовых телах Сибирской платформы [3]. Они показали понижение вдвое содержание золота в образцах измененных перидотитов (до 2,6–3,8 мг/т вместо 8–10 мг/т в исходных гранатовых перидотитах и перекристаллизованных гранатах). Именно внутримантийные глобальные процессы термофлюидного метасоматизма, выразившиеся в амфиболизации, калишпатизации, флогопитизации и карбонатизации перидотитов, приводят к перераспределению, экстракции, выносу благородных металлов с возникновением глубинных металлоносных термофлюидопотоков. Так происходит заложение магмо-термофлюидодинамических золотоплатиноконцентрирующих систем.

Высоконагретые летучие компоненты отделялись от внешней зоны ядра, нижней мантии и астеносферных линз планеты, а в дальнейшем прогревали породы верхней мантии и земной коры и формировали зоны гранитизации.

Петролого-геохимические исследования глубинных метасоматических ассоциаций в кимберлитах, выполненные О. Б. Олейниковым [7], показали, что парагенетическая ассоциация алюмошпинелид – пикроильменит – ортопироксен – амфибол – перекристаллизованный гранат явно вторичного происхождения, связанного с метасоматическим воздействием глубинных флюидов. Наличие в интрузивном кимберлите глубинных метасоматических ассоциаций, вероятно, свидетельствует о масштабности метасоматических процессов в области зарождения кимберлитовой расплава [7]. Дополнительными доказательствами участия мантийного вещества в процессе формирования золотых и золотоплатиноидных рудных объектов в земной коре могут служить постоянно выявляемые повышенные концентрации (до 1–9 г/т) платиновых металлов (Pt, Pd, Os, Ir, Rh) в золоторудных полях, рудных телах, околорудных метасоматитах крупных и сверхкрупных золоторудных месторождений России и зарубежья [3, 4]. Крупность возникавших рудных объектов обеспечивалась размерами исходных структур-ловушек металлоносных флюидов и солитонно-импульсным режимом неоднородной глубинной дегазации.

В глубинах Земли постоянно происходят процессы преобразования консолидированного вещества благодаря внутримантийному диапиризму и высокотемпературному флюидному метасоматизму. Высоконагретые флюидопотоки прогревали породы литосферы и путем гранитизации (магматического замещения, по Д.С. Коржинскому и Ю.А. Кузнецову) вовлекали их в магмообразование. В каждом слое блоке мантии, литосферы, земной коры возникали неодинаковые по силе, но схожие по природе электромагнитные и электрические явления под воздействием восходящих высоконагретых

флюидопотоков. Электромагнитные и электрические силы-потоки при перенапряжениях силовых полей создавали условия для «грозы в земле» [1]. На молекулярном уровне планеты действовали физические и механические поля перенапряжений в земных слоях. Они являлись дополнительным фактором проявления тектоники и обеспечивали транспортировку энергии и массы вещества эстафетным способом от слоя к слою с преобразованием тепловой энергии в электрическую и наоборот, а также с пульсационной передачей ее наверх. Это и создавало пульсационно-эстафетный режим развивающейся флюидно-магматической системы.

Предложенная нами концепция пульсационно-эстафетного саморазвития глубинных геологических процессов позволяет более уверенно объяснять зарождение, развитие и роль промежуточных магматических очагов в дифференциации магм в мантии и земной коре. Б.В. Олейниковым и А.Ф. Коробейниковым по материалам трапповых интрузий Сибирской платформы было показано, что, благодаря притоку глубинных сквозьмагматических флюидных потоков, несущих благородные металлы, в промежуточных камерах происходит многократное насыщение дифференцированных магм металлами [8]. В дальнейшем поздние дифференциаты магм могли участвовать в процессах эндогенного рудообразования. Такие вторично обогащенные благородными металлами расплавы и послемагматические флюиды в условиях земной коры обеспечивали формирование промышленных скоплений Au и ЭПГ.

В сложнзональных дайках долерит-диабазов и габбро-диабазов Саралинского золоторудного поля Кузнецкого Алатау, сформированных путем 3-6-кратного внедрения диабазового расплава из промежуточных очагов-камер, установлено 2-3-кратное накопление золота в поздних генерациях габбро-диабазов (коэффициент накопления  $K_{\text{H}}^{\text{Au}}=1,8-7,5$ ) [5]. Эти данные свидетельствуют также о накоплении Au в остаточных порциях расплавов при дифференциации магм и поступлении металлоносных флюидов в магматические камеры.

Автором и его коллегами разработаны критерии выделения глубинных золотоконцентрирующих систем в земной коре [3]:

1. Следы рифтогенеза и плюмтектоники, щелочного метасоматизма: инъекционные тела глубинных магматитов пикрит-базальтового, андезитового, долерит-лампрофир-плагиигранитного составов; блоки разуплотненных метасоматическими процессами пород, фиксируемых сейсмотомографией, гравитационными ступенями глубинных зон, минералого-геохимическими полями, глубинными (15–220 км) разломами. Глубинными геофизическими методами фиксируется активизация верхней мантии в виде гребней, выступов в земную кору. Крупные и гигантские рудные объекты формировались на фоне длительного развития мантийно-коровых палеодиапиров под воздействием высоконагретых флюидных потоков и флюидизированных магм.

2. Развитие на глубинах батолитов, а выше – штоков, даек долерит-диабазов, долерит-лампрофиров и полей площадных щелочных метасоматитов (калишпат-альбит-биотит-флогопитовых) со специализацией на Au, Ag, Pt, Pd, Te, Bi, Re и с признаками проявления глубинных палеодиапиров и термофлюидопотоков.

3. Выявление признаков фракционирования золота между твердой (кристаллит) и жидкой (расплав, рассол) фазами кристаллизующихся расплавов с  $K_{\text{H}}^{\text{Au}}= 1:3-21$  и  $1:33-114$ ;

между твердой и флюидной фазами области субсолидуса с  $K_H^{Au} = 1:5,5$  и  $1:290$  [3], между жидкой (расплав) и флюидной фазами кристаллизующихся расплавов основного и кремнекислого составов для толеитовых магм определены как  $1,3:1:3$  в начальной стадии кристаллизации,  $2,5:1:21$  в конечной,  $2,5:1:114$  – в остаточных флюидизированных расплавах. Этим объясняется совмещенность золотого оруденения с поздними дифференциатами гранитоидных интрузий.

4. Обнаружение среди акцессорных минералов магматитов, скарнов, K-Na метасоматитов, грейзенов, березитов-лиственитов, пропилитов, аргиллизитов, карбидов SiC, FeC<sub>3</sub>, дефицитно-сернистых соединений (троилит, пирротин) с примесями Bi, Te, As, Sb, Zn, Sn, Au, Ag, Pt, Pd, Hg, производимых высоконагретыми глубинными флюидами восстановительной обстановки минералообразования. Такие минеральные комплексы свойственны наиболее крупным рудным объектам глубинного типа [3, 4]. В золоторудных полях и месторождениях проявляется рудно-метасоматическая зональность: в вертикальном разрезе палеогидротермальных колонн: смена снизу вверх акцессорных минералов восстановительной обстановки (троилит, пирротин, Au, Ag, Zn, Sn, ортит) на окисленные (гематит, магнетит, халькопирит, сульфосоли Cu и др.).

5. Развитие ореолов повышенной золотоносности в контактовых мраморах, плагиоклаз-пироксеновых, пироксен-амфиболовых роговиках гранитоидных интрузий (Саралинское, Коммунарское, Центральное, Ольховское, Тарданское, Синюхинское рудные поля). Здесь приконтактные гранитоиды содержат  $3-5$  мг/т Au, роговики –  $5,7$  мг/т, мраморы –  $3,6-3,8$  мг/т, а вмещающие мраморы и эффузивы –  $2,2-3,2$  мг/т. Все это указывает на незначительный привнос благородного металла в приконтактные зоны интрузий [3].

6. Появление признаков вертикальной зональности метасоматитов и руд с возникновением крупных рудно-метасоматических колонн: внизу площадные калишпат-альбит-биотитовые или флогопитовые, пропилитовые ассоциации с бедными вкрапленными (но большеобъемными) золотыми рудами в метасоматитах с Au-W-Mo( $\pm$ Os, Ir, Pt); в средней части – грейзены, березиты-листвениты с жильно-штокверковыми рудами; вверху – карбонатные листвениты или эйситы, аргиллизиты с богатыми золотом рудами Au-Ag-Te $\pm$ Pd. Рудно-метасоматические колонны окружены положительными геохимическими ореолами вверху минерализованных колонн ( $K_H^{Au}$   $8-190$  и  $K_H^{эпг}$   $13-410$ ) и отрицательными или пониженными ( $K_H^{Au}$   $0,8-0,5$ ) – внизу.

7. Смена состава и свойств по вертикали рудно-метасоматических колонн расплавно-рассольных, газожидких, жидких включений в минералах магматитов, метасоматитов, руд с признаками восстановительной обстановки минералообразования внизу (преобладают H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, NH<sub>4</sub>) на окислительную вверху колонны (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O).

8. Признаки взаимодействия глубинно-мантийных (магмотермофлюидодинамических) и внутрикоровых (гранитоидно-гидротермально-метасоматических) систем (фиксация контаминации коровым материалом), а также поэтапной смены мантийных расплавов – на ранних этапах источник типа PREMA (превалирующей мантии), на поздних – источник обогащенной мантии типа EMII. Кроме

того, мантийно-короевое взаимодействие фиксируется аномальными мантийными метками изотопов Sr, Nb, Pb, Ag в рудогенерирующих магматитах и Pb, S в сульфидах рудных тел. Мантийные метки проявляются и в отношении ряда редких земель и несовместимых элементов – La/Nb, La/Sm, Nb/Y, Zr/TiO<sub>2</sub> [2, 3].

Итак, формирование наиболее крупных золоторудных комплексных золото-платиноидных месторождений происходило при активном участии глубинных металлоносных магмо-термофлюиднодинамических систем как продуктов плюмтектоники, палеодиапиризма и глубинного метасоматизма. Используя указанные геолого-геохимические показатели, нами ранее были открыты существенные концентрации платиновых металлов среди ряда золоторудных полей Сибири, Казахстана и Урала [4].

*Работа выполнена при финансовой поддержке госиздания «Наука», № 1.1312.2014.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьёв А.А. Равновесие и преобразование видов энергии в недрах. Томск: Изд-во Томского государственного университета, 1980. 212 с.
2. Коробейников А.Ф., Гусев А.И. Факторы мантийно-короевого взаимодействия в магматогенных флюидах рудогенерирующих систем // Известия ТПУ, 2009. Т. 315. № 1. С. 11–18.
3. Коробейников А.Ф., Ананьев Ю.С., Гусев А.И. Мантийно-короевые рудообразующие системы, контролируемые благородные металлы. Томск: Изд-во ТПУ, 2012. 262 с.
4. Коробейников А.Ф. Платинометалльные месторождения мира, Т. III. Комплексные золото-редкометалльно-платиноидные месторождения. М.: Научный мир, 2004б. 236 с.
5. Коробейников А.Ф., Черняева Е.И. Поведение золота при формировании зональных дайковых тел габбро-диабазов // Доклады АН СССР, 1987. Т. 292. № 3. С. 680–684.
6. Обручев В.А. Пульсационная гипотеза геотектоники // Известия АН СССР. Сер. геологическая. 1940. № 1. С. 12–29.
7. Олейников Б.В. Глубинные метасоматические ассоциации в интрузивном кимберлите // Отечественная геология, 1998. № 6. С. 51–54.
8. Олейников О.Б., Коробейников А.Ф. Основные геохимические тенденции золота при эволюции базитовых расплавов в глубинных условиях / Вопросы рудоносности Якутии. Якутск: ИГЯФ СО АН СССР, 1974. С. 78–89.
9. Усов М.А. Геотектоническая теория саморазвития материи Земли // Известия АН СССР, 1940. № 1. С. 3–11.
10. Шахов Ф.Н. Геология контактовых месторождений. Новосибирск: Наука, 1976. 132 с.
11. Шахов Ф.Н. Магмы и руды. Избранные статьи. Новосибирск: ОИГГМ СО РАН, 1994. 315 с.
12. Шахов Ф.Н. К поискам золота в Горной Шории / Развитие идей Ф.Н. Шахова в рудной геологии и геохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. С. 31–42.