

УДК 550.8:553.411

МАНТИЙНЫЕ МАГМО-ТЕРМОФЛЮИДОДИНАМИЧЕСКИЕ И ВНУТРИКОРОВЫЕ ГРАНИТОИДНО-ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ЗОЛОТОНОСНЫЕ СИСТЕМЫ

А.Ф. Коробейников

Томский политехнический университет

E-mail: lev@tpu.ru

Обсуждается содержание типовых моделей формирования глубинных и внутрикоровых рудообразующих систем. Как уже отмечалось, при образовании крупных и уникальных золоторудных месторождений происходило взаимодействие между коровыми и мантийными рудообразующими системами. Взаимодействие глубинного мантийного вещества с образованиями земной коры осуществлялось путем проникновения высокотемпературных газов-флюидов, магматических расплавов и твердых тел, образующих диапировые магмо-термофлюидодинамические системы на границах земного ядра с нижней мантией и в пределах верхней мантии – земной коры.

Общие положения: плюмтекtonика, рифтогенез, диапиризм

Золоторудные, комплексные золото-платиновые и золото-платиноидно-редкометалльные рудные ассоциации промышленного значения проявляются в различных геологических обстановках [1, 2]. Такие нетрадиционные комплексные руды золота, платиновых и редких металлов выявлены в золоторудных, скарново-железорудных, медно-молибден-порфирировых, редкометалльно-редкоземельно-карбонатитовых, редкометалльно-альбитито-грейзеновых, золото-сульфидно-черносланцевых, колчеданно-полиметаллических, океанских железо-марганцевых и сульфидных образованиях. В генетическом отношении они относятся к осадочно-гидротермальным, метаморфогенно-метасоматическим, магматогенно-гидротермальным и полигенным образованиям.

Комплексные месторождения и рудные поля нетрадиционного типа формировались в рифтогенных зонах складчатых поясов, сводово-глыбовых и террейновых структурах, в зонах тектономагматической активизации. В их образовании участвовали либо внутрикоровые гранитоидно-рудно-метасоматические, либо мантийные магмофлюидодинамические, либо совмещенные полигенные-полихронные рудообразующие системы. Наиболее крупные рудные объекты возникали на участках активного проявления плюмтекtonики, рифтогенеза, палеодиапиризма и метасоматизма. Формирование таких месторождений обеспечивалось процессами глубинного палеодиапиризма и связанными с ними гидротермально-метасоматическими явлениями в условиях седиментации в наложенных компенсационных синклиналях, в зонах дислокаций, метаморфизма, магматизма и особенно глубинного метасоматизма. Все эти явления активного проникновения энергии и вещества происходили на фоне длительно проявлявшихся мантийно-коровых палеодиапиров, возникавших под воздействием глубинных высокотемпературных флюидных потоков в расколах земной коры и мантии. Такие рудные поля и месторождения фиксируются дистанционными, наземными глубинными

геофизическими, в том числе сейсмотомографическими, геохимическими методами в форме аномалий по границам нижнекоровых, верхнемантийных неоднородностей блоков разуплотненных пород. Выявляются ореолы перераспределения, мобилизации, обмена и накопления металлов при воздействии термофлюидных систем мантийного и корового происхождения. Комплексные месторождения размещаются по границам таких полей и окружены отрицательными и пониженными значениями их напряженности и находятся над гравитационными ступенями глубинных сейсмических, палеомагнитных зон, отражающих следы воздействия былых флюидопотоков.

Как показали электрофизические исследования горных пород, тектонические процессы, происходящие в различных земных слоях, приводят к появлению высоконапряженных электрических и электромагнитных полей [3]. Именно тектономагматические процессы порождают в горных породах механоэлектрические явления, а разряд этой энергии инициирует и поддерживает энергетически вторичные тектоно-магматические процессы в разных слоях Земли. В земной коре на глубинах 15...5 км породы имеют наименьшую проводимость. А это приводит к возникновению здесь электрических полей наибольшей напряженности. Этими причинами можно объяснить локализацию здесь богатых руд. Разработанная теория вихревых токов в жидком ядре позволяет говорить о плазменном состоянии в ядре, а во внешнем – происходит сильная ионизация атомов [3]. Кроме того, энергетической основой глубинной тектоники, рифтогенеза, палеодиапиризма могли служить периодически повторяющиеся объемные деформации и их упругие последствия [4], если принять их солитонную природу. Именно импульсная дегазация ядра и мантии Земли, в условиях сверхвысоких давлений и температур, обеспечивала появление плюмов как солитонных образований или самоорганизующихся систем по И.Р. Пригожину. Фиксируемые глубинным геофизическим (сейсмическим или гравитационным) зондированием блоки отрицательных и пониженных гравитационных и магнитных зон, вероятно, подтверждают структурные ловушки для глу-

бинных металлоносных флюидов, как продуктов внутримантийных магмо-флюидодинамических систем. Возникавшие периодически волновые-силовые поля, энергетически обусловленные тепловым воздействием этих систем в земной коре и верхней мантии, трансформировались затем в объемные минералого-геохимические поля благодаря явлениям перераспределения вещества и его «стягивания» в благоприятные структуры. По пути продвижения флюидов в верхние слои мантии и земной коры они взаимодействовали с боковыми породами, обменивались компонентами и заимствовали металлы, а затем отлагали их в структурах рудолокализации на глубинах 10...1 км.

Крупность возникающих рудных объектов обеспечивалась размерами исходных структур-ловушек, а также солитонно-импульсным режимом глубинной дегазации ядра и мантии благодаря проходящим пульсационным процессам общего развития Земли. Именно с позиций пульсационной гипотезы развития Земли можно объяснить взаимопереходы вещества и энергии при тектонических процессах, а также цикличность геологических событий и периодичность рудообразующих процессов [5, 6].

Мантийные магмо-термофлюидодинамические металлоносные системы

В глубинных слоях Земли происходят глобальные процессы преобразования консолидированного вещества благодаря внутримантийному диапиризму и высокотемпературному метасоматизму. Именно глубинные высоконагретые флюиды, проникавшие из внешней зоны ядра — нижней мантии обеспечивали амфиболизацию-флогопитизацию ультраосновных, основных пород верхней мантии с образованием отдельных слоев преобразованных-разуплотненных пород. Эти преобразованные глубинным метасоматизмом породы формируются на уровне становления «вторичной зоны амфиболитов» в пределах верхней мантии [7–11].

Для объяснения природы эндогенного благороднометалльного рудообразования привлекается модель диапиризма, мантийного и внутрикорового метасоматизма. Согласно представлениям многих геологов, диапиры возникают в результате подъема легкого, сильно разогретого вещества из пограничной области внешней зоны ядра и нижней мантии Земли. Часть из них, поднимаясь в верхнюю мантию, формирует астеносферные линзы, которые служат потенциальными источниками магмы. Разогрев и разуплотнение мантии в краевых частях поднимающихся диапиров приводили к увеличению объема вещества и к образованию сводовых поднятий в складчатых областях. Краевая часть формирующейся сводовой структуры представляла собой относительно неглубокий приразломный-компенсационный прогиб. Такие наложенные синклинали, возник-

кавшие в бортах и на выклинивании офиолитовых, вулканогенных, террейновых складчатых поясов, следует рассматривать в качестве компенсационных структур проявившихся в земной коре диапиров [12, 13]. В таких компенсационных грабен-синклиналях впоследствии и формировались рудоносные черносланцевые формации, рис. 1.

Наряду с подъемом формирующегося диапира происходит частичное плавление и миграция в кору по тектоническим зонам возникавших мантийных магм путем фракционного плавления [14]. Высоконагретые летучие компоненты при этом отделялись от диапира и, поднимаясь вверх, прогревали породы земной коры и путем магматического замещения вовлекали их в магнеобразование. Возникали средне-кремнекислые ассоциации магматитов. Они рассматриваются продуктами смешения мантийных базальтовых магм с материалом земной коры или коровыми выплавками. Типичными производными таких процессов считаются породы габбро-плагиогранитной формации, широко представленные в офиолитовых, складчатых поясах и в черносланцевых толщах наложенных компенсационных синклиналей. В верхних горизонтах земной коры формировались вулканоплутонические металлоносные ассоциации. Выплавки толеитовых базальтов, которые продуцировались поднимающимся диапиром, могли возникать на глубинах 130...60 км. В земной коре они создавали промежуточные очаги на разных глубинах 20...5 км [15]. В промежуточных камерах происходили процессы дифференциации магм, их насыщение поступающими глубинными флюидами, несущими металлы, рис. 2.

Подъем диапира, сопровождавшийся разогревом вещества в «мантийном клине» между сейсмофокальной зоной на контакте диапира и земной коры, приводил к сокращению мощности литосферы и к подъему астеносферы. В результате интенсивных растягивающих усилий в зоне террейна, вулканогенного офиолитового пояса в коре появлялись рифтогенные разломы, разрушавшие сводовые поднятия. В этот период магматизм развивался преимущественно в интрузивной форме.

Одновременно с возникновением разломов рифтогенного типа, растяжением и излиянием толеитовой магмы происходило проседание коры и образование котловин окраинных морей, в которых осуществлялось отложение терригенных образований, обогащенных органикой. В наиболее приподнятой части мантийного диапира обособились внутрисинклинальные поднятия. Здесь недифференцированные эффузивные и интрузивные базит-ультрабазитовые магматиты формировали офиолитовые ассоциации. Они сменялись известково-щелочными сериями с небольшими объемами средних и кремнекислых пород, образующих малые интрузии и дайки.

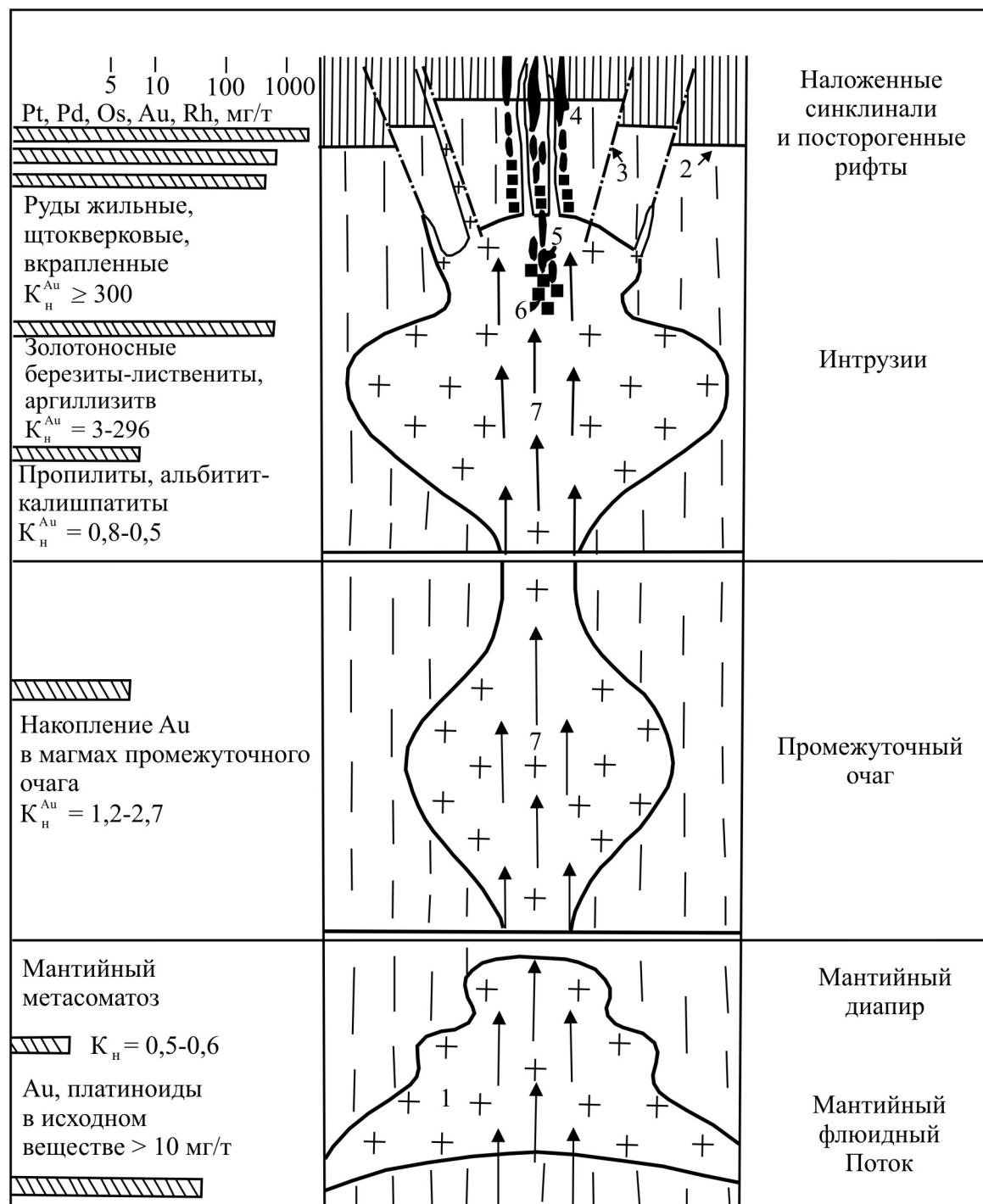


Рис. 1. Мантийно-коровая модель формирования золото-платиноидно-редкометалльных месторождений в черносланцевых толщах орогенно-рифтогенных структур протерозоя-фанерозоя: 1) гипербазит-базит-плагиогранитные интрузии; 2) компенсационные синклинали и посторогенные рифты; 3) региональные глубинные разломы; 4-6) руды: 4) жильные, 5) штокверковые, 6) вкрапленные; 7) флюидный мантийный поток

Условия образования золотоносных термофлюидных систем

Внутримантийные процессы преобразования глубинного вещества (амфиболизация перидотитов, перекристаллизация гранатов перидотитов) сопровождалась перераспределением и выносом благородных металлов до 50 % от общего их коли-

чества в исходных породах мантии. Это обеспечивало возникновение металлоносных магмо-термофлюидодинамических глубинных систем в мантии [1, 2, 17].

Геохимические исследования показали, что соотношения содержаний большинства рудных элементов в образованиях мантии Земли близки к

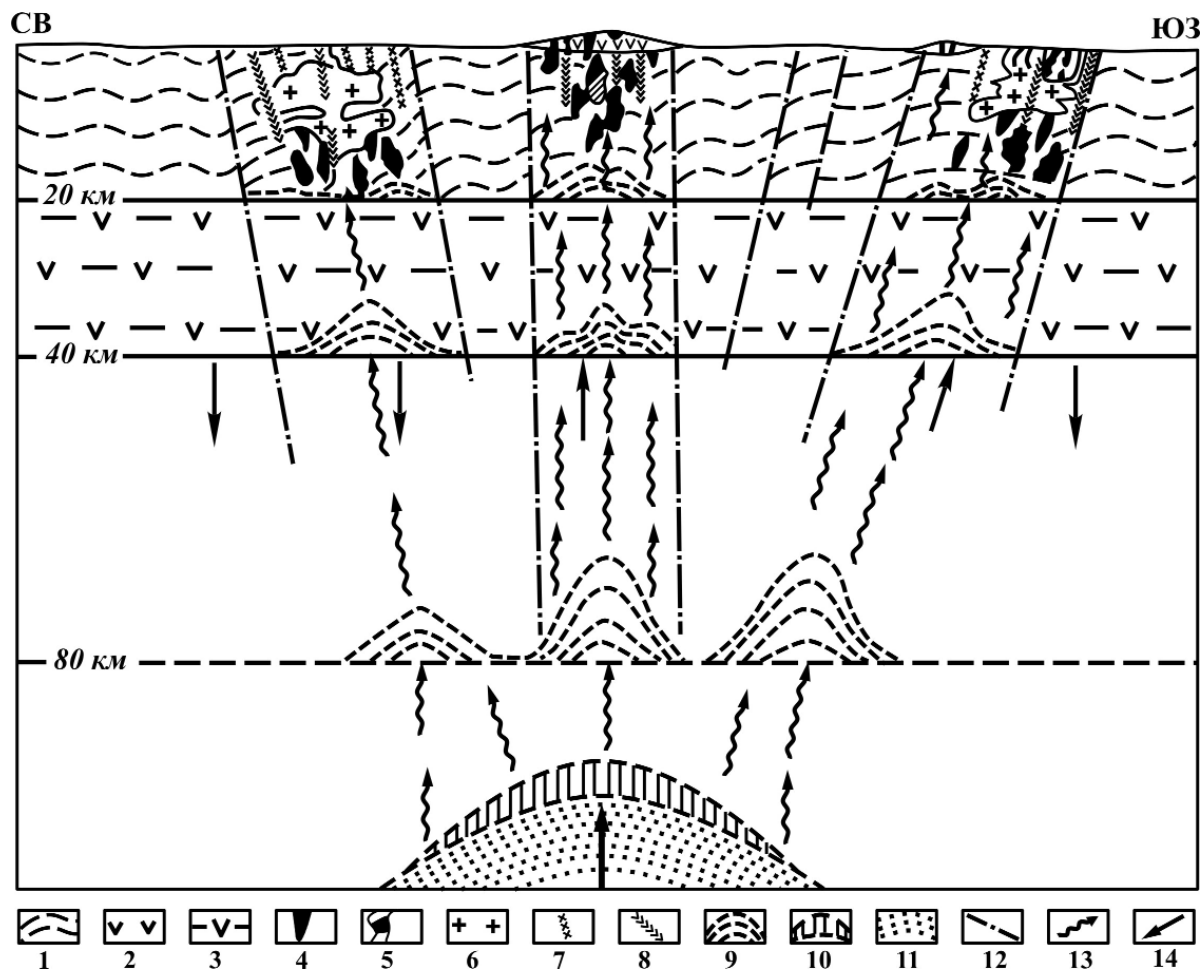


Рис. 2. Модель формирования комплексных золото-платино-платиноидных руд в черносланцевых горизонтах Чарского офиолитового пояса СВ Казахстана: 1) седиментная кора; 2) излившиеся андезито-базальты; 3) комплекс высокометаморфизованных пород; 4) гипербазиты; 5) габброиды; 6) гранитоиды; 7) дайки диорит-лампрофиров, плагиогранит-порфиров; 8) дайки диабазов, долеритов, порфиритов; 9) внутрикоровые диапиры зоны формирования средних, кислых и основных расплавов; 10) глубинные расплавы диапиров; 11) зоны частичного плавления образований диапиров; 12) глубинные разломы I-III порядков; 13) глубинные флюидопотоки; 14) направление движения магмогенерирующей области диапира

хондритовым. В исходных каменных и железных метеоритах содержания благородных металлов значительно выше, чем во всех типах горных пород земной коры и верхней мантии. Например, содержания золота колеблются от 0,01 до 4,51 г/т [16, 17], а платины и платиноидов — от 0,06 до 7,5 г/т [18, 19]. Поскольку состав метеоритов сопоставляется с составом центральных зон Земли, многие исследователи полагают о существенном накоплении золота и платиноидов в ядре Земли, например, золота до 4 и более г/т. Кроме того, высокие содержания тяжелых металлов в нижних частях мантии возможно связаны с явлениями накопления их в остаточных сильно флюидизированных расплавах благодаря фракционированию металлов между твердой, жидкой и флюидной фазами кристаллизующихся магм и привнесом их глубинными флюидами в промежуточные очаги [20]. Геохимические исследования показали, что в начальную стадию кристаллизации толеитовых магм коэффициенты

распределения золота между этими фазами составляли $K_p^{Au}=1,3:1:3$ и $2,5:1:21$ в конечную стадию. Для гранитоидных магм эти геохимические показатели составили $2:1:5$ в начальную стадию кристаллизации и $5,5:1:(53...114)$ в заключительную стадию. Трансмагматические растворы также могли транспортировать золото, поскольку при кристаллизации толеитовых расплавов в промежуточных камерах выявлено $2...2,5$ -кратное его накопление в продуктах их кристаллизации.

Глубинный магматизм и метасоматизм

Во всех типах мантийных магматических и метасоматических пород основными концентраторами серы и большинства тяжелых металлов являлись сульфиды.

Главными накопителями летучих компонентов — H_2O , CO , CO_2 , P , Cl , F , CNS , играющих важную роль во флюидном массопереносе, являются амфи-

болы, слюды, карбонаты. При высоких концентрациях серы эти элементы могли концентрироваться в сульфидных фазах, а при малых содержаниях серы в исходных расплавах металлы распределялись и в силикатных, и оксидных минералах. Насыщение магматических расплавов серой осуществлялось благодаря явлениям сульфуризации магм [21]. Учитывая содержания рудных и летучих компонентов в различных мантийных источниках, Н.С. Горбачев [22] полагает, что в отношении рудогенерирующей способности наиболее перспективны вторично обогащенные метасоматически преобразованные перидотиты или породы неистощенной мантии.

В обстановке трансмагматического механизма дифференциации базальтоидных магм можно ожидать повышенного потока флюидов (рис. 2). Особенности метасоматически измененных ксенолитов мантийных пород, извлеченных из кимберлитов и щелочных базальтов, указывают на присутствие и миграцию в верхней мантии водных флюидов, обогащенных CO_2 , CO , F , S , CNS , P , Fe , Ti , Au , Ag , Pt , Pd , Os , Ir , Ru и другими тяжелыми элементами. Эти флюиды вызывали метасоматические преобразования первичных пород мантии с возникновением флюидосодержащих минералов-амфиболов, слюд, карбонатов, оксидов. Флюидный массоперенос и связанный с ним мантийный метасоматоз приводили к формированию метасоматически обогащенных летучими и рудными элементами магматитов верхней мантии, сходных по составу с первичными высокотемпературными «неистощенными» перидотитами [22]. Не исключено, что метасоматически измененные перидотиты являются фрагментами обширной области верхней мантии, измененной восходящими потоками глубинных мантийных флюидов.

В верхней мантии и земной коре можно выделить глубинные области (>60 км), где преобладают процессы экстракции некогерентных элементов восходящими потоками глубинных флюидов, и область разгрузки флюидов (15...5 км), где преобладает обогащение расплавов и породообразующих минералов магматитов некогерентными элементами. Именно с флюидным массопереносом следует связывать формирование аномально высоких концентраций золота и платиновых металлов в магматических медно-никель-сульфидных и в послемагматических рудных месторождениях.

Широко проявившийся мантийный метасоматоз, возможно, обеспечивал перераспределение благородных металлов в породах не только внешних, но и внутренних геосфер Земли. Например, геохимическими исследованиями перекристаллизованных при мантийном метасоматозе гранатах из глубинных перидотитовых включений в кимберлитах Сибирской платформы было установлено двукратное сокращение содержаний золота по сравнению с исходными породами: $K_{\text{H}}^{\text{Au}}=0,5...0,6$. Нашими ранними геохимическими работами было показано, что среди ксенолитов глубинных пород (гра-

натовых перидотитов) в кимберлитах, лампроитах, щелочных базальтах обособилось два типа: неизменные ксенолиты и измененные их разности. В измененных перидотитах и перекристаллизованных гранатах зафиксировано пониженное содержание золота до 2...4 мг/т, а в неизменных разностях 10 мг/т Au в среднем. Кроме того, гипербазиты, альнеиты, кимберлиты, лампроиты, формировавшиеся на значительных глубинах верхней мантии при активном участии мантийного щелочного метасоматоза, обычно обеднены золотом до 0,5...3 мг/т вместо обычных значений 8...10 мг/т в исходных магматитах. Установлено неоднородное распределение золота в различных магматитах и метасоматитах глубинного происхождения, выявленных в земной коре: от 0,5 до 47 мг/т. При этом основная роль в фиксации халькофильных и благородных металлов в базитах и гипербазитах верхней мантии принадлежит сере. При высоких значениях давления и температуры сера накапливалась в этих магматитах (и особенно в промежуточных очагах-камерах при поступлении в них трансмагматических флюидов) и благодаря своим свойствам могла захватывать и захоранивать металлы в формирующихся породах. Поэтому породы базит-гипербазитовых формаций, если они обогащены сульфидной серой, несут повышенные концентрации Au и ЭПГ до $n \cdot 10^{-6}...n \cdot 10^{-7}$ мас. % вместо $n \cdot 10^{-7}...n \cdot 10^{-8}$ мас. % в рядовых пробах из аналогичных пород, необогащенных серой.

Дополнительными доказательствами участия мантийного вещества при формировании крупных комплексных золото-платиноидных рудных объектов могут служить выявляемые повышенные концентрации платиновых металлов Pt , Pd , Os , Ir , Rh до 1...9 г/т и более в золоторудных зонах, рудных телах и околорудных метасоматитах ряда известных крупных и сверхкрупных месторождений России и зарубежья [1, 23, 24]. Процессы глубинной гранитизации нижнекоровых блоков пород (магматического замещения по Д.С. Коржинскому) в областях их активного разуплотнения под воздействием глубинных термофлюидопотоков также могут служить дополнительными доказательствами заложения «глубинных магмо-термофлюидодинамических систем» как продуктов деятельности плюмтектоники.

Энергетической основой глубинной тектоники и метасоматизма могли служить периодически повторяющиеся деформации и их упругие последствия (по терминологии Е.Д. Глукманчука [4]), если принять их солитонную природу, а также мощные электрические разряды, возникавшие во внешнем ядре и мантии, земной коре, в связи с образованием электрических и электромагнитных полей [3].

Именно импульсная дегазация ядра и мантии в условиях сверхвысоких давлений и температур обеспечивала появление плюмов как солитонных образований или самоорганизующихся систем по И.Р. Пригожину. Фиксируемые глубинным физи-

ческим зондированием блоки отрицательных магнитных и гравиметрических аномальных зон, вероятно, подтверждают периодически возникавшие структурные ловушки в мантии и низах земной коры для металлоносных глубинных нагретых флюидов. Это и служило основой для формирования мантийных магмо-термофлюидодинамических рудообразующих систем. Крупность возникавших рудных объектов обеспечивалась размерами исходных структур-ловушек, а также солитонно-импульсным режимом неоднократной глубинной дегазации.

Внутрикоровые гранитоидно-гидротермально-метасоматические рудообразующие системы

Такие рудообразующие внутрикоровые системы формировались в связи с развитием флюидонасыщенных гранитоидных интрузий и сопровождающих гидротермально-метасоматических процессов. Магмо-рудно-метасоматические системы такого типа возникали и развивались в земной коре на глубинах 15...1 км. Наиболее крупные магмо-гидротермально-метасоматические рудообразующие колонны возникали благодаря взаимодействию их с глубинными термофлюидными потоками при распаде мантийной магмо-термофлюидодинамической системы над мантийно-коровыми диапирами. Именно взаимодействие глубинных нагретых флюидов с коровыми терцинно-поровыми холодными водами и приводило к распаду мантийных термофлюидных систем. В земной коре магматические процессы сопровождались метасоматическими явлениями площадного типа (контактовый и щелочной аутометасоматоз): образование магнезиально-известковых скарнов, после-скарновых метасоматитов-грейзенов, альбит-калийшпат-биотит-серицитовых, березит-лиственитовых, гумбеитовых, эйситовых, аргиллизитовых, пропиловитовых метасоматитов с образованием крупных рудно-метасоматических колонн протяженностью 1...3,8 км по вертикали.

В нижних частях таких рудно-метасоматических колонн размещены ранние щелочные метасоматиты (амфиболовые, альбит-калийшпат-биотитовые или пропиловитовые); в средних – грейзены, березиты-листвениты, гумбеиты; в верхних – эйситы, аргиллизиты, кварциты с разноминеральными золотыми, золото-палладий-теллуридно-сурьмяными рудами.

Золоторудные и золото-платиноидные рудные поля и месторождения располагаются в террейнах, вулканогенных, офиолитовых поясах, окраинных частях сводовых поднятий и срединных массивов с двухъярусным вулканогенно-терригенным или карбонатно-сланцевым разрезами верхней части земной коры умеренной мощности в 35...48 км. Региональные закономерности формирования и размещения таких рудных полей и месторождений в складчатых поясах определялись рифтогенными блоками осадочно-вулканогенных, вулканоген-

ных, офиолитовых комплексов пород, осложненных ограничивающими эти структурные региональные блоки глубинными продольными разломами I порядка, а также сквозными поперечными разломами II порядка, участками их пересечений с зонами трещиноватости II, III порядков. Все они отражают собой сложно-блоковое строение оснований верхнекоровых рудоносных структур. Глубинные разломы фиксируются сериями разрывов-сколов, зон трещиноватости, гранитоидами повышенной основности, иногда телами базит-гипербазитов, дайками долерит-диабазового, диорит-лампрофирового, порфиорового составов, площадными и локальными метасоматитами. Они развиты в бортах палеотрогов, терригенно-вулканогенных, офиолитовых, террейновых поясов, на выклинивании глубинных разломов среди протерозой-палеозойских блоков пород. Обособленную группу рудных объектов составляют рудоносные древние зеленочаменные пояса Канады, Австралии и других континентов. Они достаточно подробно освещены в отечественной и иностранной геологической литературе.

Рудные поля характеризуются сложноблоковым внутренним строением и располагаются в узлах наиболее усложненных продольных и поперечных складчато-разрывных структур регионального типа в зонах активного проявления палеодиапиризма. Самые крупные золоторудные и комплексные золото-платиноидные рудные поля и месторождения локализованы в блоках с неоднократным проявлением глубинного и внутрикорового магматизма и метасоматизма. Размещение таких рудных полей и месторождений в рифтогенных блоках земной коры контролировалось разломами, зонами трещиноватости, дробления, милонитизации и метасоматического замещения на участках развития черносланцевых толщ, прорванных интрузиями базит-гипербазит-плагиогранитных, диорит-сиенит-порфиоровых, гранитных интрузий или даек, штоков долерит-диабазового, диорит-лампрофирового, плагиогранитного, гранит-сиенит-порфиорового рядов [1, 2, 17, 23]. Гидротермально-метасоматические процессы, протекавшие в верхних частях земной коры при распаде глубинной магмо-флюидной системы над мантийными диапирами, обеспечивали разуплотнение исходных пород благодаря явлениям гидратации-метасоматоза с увеличением объемов измененных пород на 12...22 %. Избыточное объемное разрастание отдельных крупных блоков пород земной коры приводило к диапиризму и рифтообразованию. Все это способствовало заложению новых разломов, разрывов II порядка, зон трещиноватости и горсто-грабенных структур компенсационного типа.

Краевые участки развивавшихся диапировых куполов представляли собой приразломные компенсационные прогибы, в которых формировались рудоносные черносланцевые формации или вулканогенно-осадочные блоки. Внутригеосинклинальные поднятия и рифтогенные компенсационные

впадины, прогибы возникали в боках блоков с наибольшим подъемом мантийного диапира. Ряд из них возник на выклинивании рифтогенов или в бортах зеленокаменных, офиолитовых, вулканогенных поясов на участках рифтогенеза и связан со становлением базитовых, гипербазит-базит-плагиогранитных интрузивных серий в разломах глубокого заложения. Например, рудные поля Саралы в Кузнецком Алатау, Зун-Ослы в Восточном Саяне, Западной Калбы, Тянь-Шаня (Саралинское, Мурунтауское, Бакырчикское, Акжальское, Боко-Васильевское), в Приамурье (Бамское, Дукатское), Кумтора в Киргизии, Мурунтау. Нередко в таких структурно-формационных, структурно-фациальных зонах наблюдается совмещение разноглубинных магмо-рудно-метасоматических образований с возникновением рудно-метасоматической зональности регионального и локального типов [26, 27].

Региональная и локальная эндогенная зональность рудных полей и месторождений

Региональная металлогеническая зональность проявляется как смена различных формационных типов руд и сопровождающих метасоматитов относительно интрузивных тел по простиранию отдельных структурно-формационных зон, на участках осложнения дугowymi, линейно-поперечными, очагово-кольцевыми, линейно-продольными (по отношению к осям складчатых систем) структурами. Они фиксируются гранитоидными интрузивами, дайковыми поясами и разнообразными метасоматитами. Золотые, комплексные золото-платиноидно-редкометалльные руды парагенетически связаны с многообразными орогенно-рифтогенными гранитоидными интрузиями повышенной основности — с ранними субдукционно-коллизийными габбро-плагиогранитными и поздними рифтогенными габбро-сиенит-гранитными, диорит-сиенит-порфировыми интрузиями. Все они относятся к интрузивным сериям мантийного и внутрикорового типа.

Например, в южной части Северо-Китайской платформы, в поясе Цыньлинь выявлена металлогеническая зональность рудных поясов [28]. Здесь с северо-запада на юго-восток пояса при погружении основания архейского массива зональность оруденения соответствует такой последовательности: $Au \rightarrow Mo \rightarrow W \rightarrow Pb, Zn$ и связана со сменой типа эндогенного оруденения — золото-кварцевые жилы $\rightarrow$ золотоносные брекчии и штокверковые руды; молибден-порфировые $\rightarrow$ молибден-вольфрам-скарновые. Подобные закономерности размещения комплексного эндогенного оруденения установлены и в пределах металлогенического пояса Нанлинь в Южном Китае. В юго-восточной части Сибирской платформы установлены три складчатые системы, различные по времени своего образования: наиболее древняя Алданская, протерозойская Станового хребта и Байкальская. С северо-запада на юго-восток при погружении основания платформы зональ-

ность оруденения изменяется по схеме: $Au-W, Mo, Sn, Pb, Zn$ [28]. В Забайкальском складчатом регионе проявились интенсивные процессы рифтогенеза и тектоно-магматической активизации. Примером структур с совмещенным комплексным оруденением является известный золото-молибденовый пояс, выделенный С.С. Смирновым.

Для золотогенерирующих гранитоидов Сибирского перикратонного металлогенического пояса выявлена зональность в распределении минеральных типов комплексного оруденения: в гранитоидных массивах залегают руды грейзеновой редкометалльной формаций, в контактах интрузивов — жильные золото-редкометалльные сульфидные, а далее — сульфидантимонитовые золоторудные месторождения на удалении от гранитоидов. Флюидный режим таких интрузий отвечал высокой их восстановленности при близкой активности H_2 и HCl в минералообразующих системах (магматитах-флюидах). Это и обусловило формирование комплексных золото-платиноидно-редкометалльных руд в общих металлогенических поясах.

В пределах складчатых поясов, складчатых и рифтогенных подвижных зон проявились геосинклинальные, орогенные и посторогенные магматиты с сопровождающими метасоматитами. В начальный этап развития подвижных складчатых зон возникали близповерхностные вулканоплутонические пояса с сопутствующими пропилитами-метасоматическими кварцитами, серицитовыми, аргиллизитовыми метасоматитами с прожилково-вкрапленной золотосульфидной минерализацией промышленного значения. Они связаны с эффузивно-интрузивным базальтоидным магматизмом. Затем проявлялись среднеглубинные-гипабиссальные гранитоидные интрузии повышенной основности (гранитоиды «пестрого состава» по терминологии Ю.А. Кузнецова) с метасоматитами золото-скарновой, золото-скарново-магнетитовой, золото-редкометалльно-альбитит-грейзеновой, золото-кварцево-березитовой, золото-кварцево-сульфидной формаций. На этапе рифтогенеза и тектоно-магматической активизации структур формировались гипабиссальные — малоглубинные габбро-диорит-гранодиоритовые, габбро-сиенит-гранитные, андезитовые магматиты с сопровождающими пропилитами, эйситами, аргиллизитами с золото-медно-скарновыми, золото-медно-порфировыми, золото-серебряно-пропилитовыми, золото-теллуридно-пропилит-аргиллизитовыми, золото-антимонитовыми, золото-халцедон-аргентитовыми близповерхностными рудами. Обычно золотое и комплексное золото-платиноидно-редкометалльное оруденение такого типа проявляется в связи со становлением I и II фаз гранитоидных интрузий, даек пестрого состава, с III и IV фазами интрузий гранит-порфирового типа связаны молибден-вольфрамовые и оловянные руды с редкими элементами (Bi, Te, Se, Tl, Sb, Nb, Ga, Sr, Sc). В пределах крупных металлогенических зон проявляется ре-

гиональная интрузивно-рудно-метасоматическая и геохимическая зональность, обусловленная глубиной становления интрузий (2...7 км), метасоматитов и руд (0,5...5 км) и величиной эрозионного среза отдельных структурных блоков этих зон. Например, на Урале проявились металлогенические зоны с совмещенными золото-платиноидно-содержащими скарнами внизу рудно-метасоматических колонн и золото-платиноносными медно-порфировыми рудами сверху этих колонн (Гумешевское и Тарутинское комплексные скарново-медно-порфировые (с Au, Pt, Pd) месторождения).

Продуктивные гранитоидные интрузии контролировались рифтогенными глубинными разломами. Они несут следы магматического замещения и щелочно-кислотного автометасоматоза, а непродуктивные интрузивы таких изменений лишены. Для продуктивных интрузий свойственны: повышенная основность, натриево-калиевая специализация пород, резко выраженный щелочной-кислотный автометасоматоз; развитие магнезиально-известковых скарнов, послескарновых метасоматитов и пород двух петрохимических рядов-диоритов и плагиогранитов; преобладание хлора над фтором во флюидной фазе интрузий (Cl:F 2...50) [29]. Породы продуктивных гранитоидных интрузий и сопровождающих контактовых метасоматитов (магнезиально-известковых скарнов, послескарновых метасоматитов) обогащены Au ($\bar{X}=3...7$ мг/т, $V>80\%$, $K_H\geq 2...3$ для гранитоидов и $\bar{X}=10...350$ мг/т, $V\geq 100\%$, $K_H\geq 5...250$ для скарнов, послескарновых метасоматитов). Для непродуктивных интрузий — $\bar{X}_{Au}=2...3$ мг/т, $V_{Au}<70\%$, $K_H^{Au}\leq 0,8...1,7$ и сопровождающих метасоматитов ($\bar{X}_{Au}=5...8$ мг/т, $V_{Au}<80\%$, $K_H^{Au}<1...4$).

Для продуктивных интрузий намечается общая тенденция к накоплению золота до $K_H^{Au}=1,1...2,5$ от образований ранней фазы к поздним дифференциатам второй или третьей фаз. Выявленная тенденция накопления золота в породах и минералах поздних дифференциатов потенциально продуктивных гранитоидных интрузий свидетельствует о накоплении его в остаточных расплавах ($K_H^{Au}=1,1...2,7$) и особенно во флюидах области субсолидуса ($K_H^{Au}=53...300$). Установлено отчетливое многократное накопление Au при становлении поздних фаз (III–VI) симметрично-зональных дайковых тел габбро-долеритов в Саралинском золоторудном поле. Здесь в ранних габбро-долеритах выявлены содержания металла 1,8...2,9 мг/т, а в аналогичных дайковых породах III–VI фаз внедрения — 3,4...14 мг/т Au: $K_H^{Au}=1,1...7,5$. Эта тенденция выявилась и при сравнении неизменных мелкозернистых даек группы габбро-долеритов (2,7 мг/т Au) с поздними краевыми частями (фазами III–VI) дайковых тел диабазового порфирита (7,7 мг/т Au), в которых щелочной автометасоматоз не проявился вовсе: $K_H=1,3...2,8$. Выявленные тенденции свидетельствуют о накоплении золота в поздних порциях магматического расплава при его дифферен-

циации в промежуточных очагах-камерах (в остаточных расплавах) [30].

Коэффициенты распределения золота между жидкой, твердой и флюидной фазами кристаллизовавшихся расплавов составляли 1,3:1:3 в начальную и 2,5:1:21 в конечную стадии кристаллизации для толеитовых магм и 2:1:5 и 5,5:1:53...114 для гранитоидных магм [20, 25].

Трансмагматические флюиды также могли привносить золото в промежуточные магматические камеры, поскольку при кристаллизации толеитовых и гранитоидных расплавов в этих промежуточных камерах выявлено 2...2,5 и 2...5,5-кратное накопление металла в продуктах их кристаллизации и установлено существенное его накопление ($K_H^{Au}=1,7...114$) в минералах магнезиальных скарнов, формировавшихся в магматический этап становления интрузий.

Магматические процессы в земной коре сопровождалась метасоматическими явлениями с образованием крупных и мелких рудно-метасоматических колонн протяженностью по вертикали 1,2...3,8 км. Длительно существовавшие термофлюидопотоки обеспечивали широкий фронт перераспределения, обмена, привноса, выноса рудных компонентов из боковых пород по пути продвижения флюидов. В нижних частях таких колонн распространены калиево-натриевые автометасоматиты, а выше по разрезу — скарны, грейзены, березиты-листвениты, гумбеиты, пропилиты, эйситы, аргиллизиты и руды различного состава. Отмеченная метасоматическая зональность, скорее всего, свидетельствует об окисляющем воздействии трещинно-поровых вод боковых пород верхней части термогидроколонны на глубинные флюиды восстановительной обстановки. Для наиболее крупных рудно-метасоматических зон-колонн, формировавшихся в апикальных частях гранитоидных интрузий и дайковых пучков свойственны признаки участия глубинных флюидопотоков. Они проявляются в магматитах и автометасоматитах в виде протяженной на глубину зонально построенной метасоматической колонны со следами явлений постепенного окисления глубинных флюидов кверху этой колонны. Это подчеркивается изменением минеральных парагенезисов и геохимических ассоциаций элементов с глубиной.

Метасоматиты и руды в общей рудно-метасоматической колонне размещаются закономерно: внизу колонны залегают щелочные метасоматиты кварц-альбитового, калишпат-альбитового, альбит-биотит-мусковитового составов с вкрапленными рудами Au-W-Mo-Os-Pt; в средней части — грейзены, березиты-листвениты, гумбеиты, иногда пропилиты со штокверковыми рудами Au-Bi-Te-As-Pt-Pd; вверху — листвениты карбонатные или эйситы-аргиллизиты с жильной, жильно-штокверковой минерализацией Au, Au-Ag-Pd-Sb-Hg. Эти части гидротермальной колонны подчеркиваются геохимическими полями-ореолами истощения Au,

Ag, Pt, Pd внизу, а в средней-верхней частях — накопления рудных элементов. Выделяются надрудные Sb, Ba, Hg, Ti; околорудные Cu, Pb, Zn, As, Ag, Au, Pt, Pd, Bi, Te, Se; подрудные Ti, Ni, V, Co, Mn, Cr, Os, Ir, Mo, Be, W группы элементов в ореолах.

Итак, формирование золоторудных и комплексных золото-платиноидно-редкометалльных месторождений в земной коре осуществлялось двумя путями: 1) при становлении гранитоидных интрузий пестрого состава, диорит-лампрофировых штоков, даек, когда возникали местные послемагматические рудообразующие гидротермальные потоки; они создавали малообъемные рудно-метасоматические колонны и золоторудные, золото-редкометалльные рудные объекты с убогими и средними запасами благородных металлов; 2) при участии глубинных магм и мантийных высоконагретых флюидов оформлялись крупнообъемные и сверхкрупные совмещенные рудно-метасоматические колонны, в которых создавались крупные рудные месторождения. Именно совмещение внутрикоровых и глубинно-мантийных рудообразующих магмо-термофлюидодинамических систем и обеспечивало образование крупных и сверхкрупных рудных месторождений. Такие месторождения формировались благодаря многократным длительным процессам «стягивания» рудного вещества в единые геохимические ореолы-поля, трансформированные затем в крупные рудные месторождения.

Последовательность геолого-геохимических событий при формировании таких комплексных благороднометалльных месторождений такова (K_H^{Au}):

- мантийный метасоматизм глубинного вещества и заложение металлоносных термофлюидных систем — 0,5;
- становление гипербазит-базитовых интрузий в земной коре — 1,2...2,7;
- автометасоматическая серпентинизация гипербазит-базитов — 0,9...1,0;
- внедрение габбро-плагиогранитных интрузий — 1,7...5,6;
- метасоматическая оливинизация серпентинитов — 0,7...0,8;
- K-Na автометасоматоз гранитоидов — 0,8...0,6, а $K_H^{эпг}=0,5...0,6$;
- пропиолитизация вулканитов, даек габбро-долеритов — 0,9...0,8, а $K_H^{эпг}=0,8$;
- березитизация-лиственитизация, грейзенизация или аргиллизация магматитов, углеродистых сланцев — 3...300, а $K_H^{эпг}=36...410$;
- окварцевание и сульфидизация магматических, метасоматических, углеродистых терригенных пород — 300...2000, а $K_H^{эпг}>1050$.

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов РФФИ и Минобрнауки РФ: гранты 93-05-9331, 96-05-64005, 06-05-6491, 1-2006-РН-112.0/001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробейников А.Ф. Нетрадиционные комплексные золото-платиноидные месторождения складчатых поясов. — Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999. — 237 с.
2. Коробейников А.Ф. Комплексные месторождения благородных и редких металлов. — Томск: Изд-во ТПУ, 2006. — 327 с.
3. Воробьев А.А. Равновесие и преобразования видов энергии в недрах. — Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1980. — 212 с.
4. Глухманчук Е.Д. Деформации упругого последствия в верхних слоях земной коры как индикатор движения магм и флюидов // Геология и геофизика. — 1992. — № 6. — С. 32–36.
5. Усов М.А. Геотектоническая теория саморазвития материи Земли // Известия АН СССР. Серия геол. — 1940. — № 1.
6. Мартынов Н.Е. Размышления о пульсациях Земли. — Красноярск: КНИИГиМС, 2003. — 272 с.
7. Рябчиков И.Д., Бетчер А.Л. Состав водных флюидов, равновесных с флогопитосодержащими мантийными парагенезисами при высоких давлениях и температурах // Известия АН СССР. Серия геол. — 1980. — № 3. — С. 56–61.
8. Лазько Е.Е., Серенко В.В. Перидотиты с зональными гранатами из кимберлитов Якутии: свидетельство высокотемпературного глубинного метасоматоза и внутримантийного метасоматизма? // Известия АН СССР. Серия геол. — 1983. — № 12. — С. 41–53.
9. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений. — 2001. — Т. 43. — № 4. — С. 291–307.
10. Anderson D.L. The derthe of mantle zeservoirs. Magmatic processes Physiochemical in principles // The Geochemical Society, Special Publication 1 // Erdly B.O. Mustn. — 1987. — P. 3–12.
11. Boettcher F.L., O'Neil J.R., Windom K.E. e.a. Metasomatism of the upper mantle and the genesis of kimberlites and alkalilalts // Proc. 2-nd Intern. Kimberlite Conf. — 1979. — V. 1. — P. 173–182.
12. Коробейников А.Ф. Мантийно-коровая модель формирования эндогенных месторождений золота // Геология, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. — Иркутск: Изд-ие ИПИ, 1990. — С. 29–40.
13. Коробейников А.Ф. Геолого-геохимические модели золотоносных рудно-магматических систем // Геолого-генетические модели рудно-магматических систем. — Иркутск: Изд-ие ИПИ, 1991. — С. 3–15.
14. Рингвуд А.Е. Состав и происхождение Земли. — М.: Наука, 1981. — 111 с.
15. Фролова Т.И., Перчук Л.А., Бурикова И.А. Магматизм и преобразование земной коры активных окраин. — М.: Недра, 1989. — 261 с.
16. Щербаков Ю.Г. Геохимия золоторудных месторождений в Кузнецком Алатау и Горном Алтае. — Новосибирск: Наука, 1974. — 278 с.
17. Коробейников А.Ф. Золото в эндогенных процессах земной коры и мантии // Доклады АН СССР. — 1988. — Т. 299. — № 5. — С. 1233–1237.
18. Рахимов Х.Р. Геохимические особенности элементов платиновой группы и золота в различных фазах метеоритового вещества (с использованием радиоактивных методов анализа). — Дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Ташкент, 1989. — 167 с.
19. Олейников Б.В., Копылова А.Г., Коробейников А.Ф., Колпакова Н.А. Осмий в самородном железе континентальных базитов // Отечественная геология. — 1998. — № 6. — С. 58–63.
20. Коробейников А.Ф. Фракционирование золота в магматическом расплаве при его кристаллизации // Доклады АН СССР. — 1981. — Т. 259. — № 5. — С. 1200–1204.

21. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. Геохимия серы в процессах эволюции магм. — М.: Наука, 1982. — 148 с.
22. Горбачев Н.С. Флюидно-магматическое взаимодействие в сульфидно-силикатных системах. — М.: Наука, 1989. — 127 с.
23. Коробейников А.Ф. Платиновые металлы в золоторудных месторождениях складчатых структур Сибири и Северо-Восточного Казахстана // Геохимия. — 1998. — № 10. — С. 1009–1020.
24. Коробейников А.Ф. Комплексные золото-платиноидно-редкометалльные месторождения — резерв XXI века // Известия Томского политехнического университета. — 2001. — Т. 304. — № 1. — С. 169–182.
25. Коробейников А.Ф. Условия концентрации золота в палеозойских орогенах. — Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1987. — 177 с.
26. Коробейников А.Ф. Особенности поведения золота при площадном и локальном метасоматозе гранитоидных интрузий Саяно-Алтайской складчатой области // Геохимия. — 1977. — № 2. — С. 288–297.
27. Коробейников А.Ф. Рудно-метасоматическая зональность на месторождениях золота // Геология рудных месторождений. — 1983. — № 1. — С. 96–99.
28. Хэ Ин. Региональная, промежуточная и локальная зональность Au, Mo, W, Sn-оруденений на примере районов России и Китая // Известия вузов. Геология и разведка. — 1998. — № 1. — С. 154–155.
29. Коробейников А.Ф. Критерии связи золотого оруденения с магматизмом и метасоматизмом в Саяно-Алтайской складчатой области // Критерии прогнозной оценки эндогенного оруденения Алтае-Саянской области. — Новосибирск: Наука, 1982. — С. 89–93.
30. 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.

Поступила 1.06.2007 г.

УДК 553.493.6:528.7(571.15)

КОСМОСТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ РАЙОНА КАЛГУТИНСКОГО РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

А.А. Поцелуев, Ю.С. Ананьев, И.Ю. Анникова*, А.Г. Владимиров*, А.Н. Василевский**, Л.В. Витте**

Томский политехнический университет

E-mail: poan@ign.tpu.ru

*Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: ira99@uiggm.nsc.ru

**Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск

E-mail: kontorovichAE@uiggm.nsc.ru

Изучены космоструктуры района Калгутинского редкометалльного месторождения (Горный Алтай) по материалам мультиспектральной космической съемки Landsat ETM+ и радиолокационной съемки SRTM. Район локализован внутри крупной кольцевой структуры сложного строения, характеризующейся длительным многоэтапным (многоимпульсным) развитием. Установлено погружение корневой (очаговой) части структуры с запад – северо-запада на восток – юго-восток. Положение кольцевой структуры контролируется узлом пересечения зон разломов северо-западного, северо-восточного и северо-восточно – субширотного направлений. Калгутинский гранитный массив и собственно месторождение находятся во внутреннем поясе структуры в кольце диаметром 15,2 км. Высоко оценены перспективы рудоносности юго-восточной части района, в связи с развитием малых кольцевых структур второго типа.

Введение

Исследование условий формирования месторождений, выявление источников вещества и энергии, а так же причин рудоотложения являются важнейшими вопросами минерогенеза. Их решение лежит в основе генетических построений и является базой прогнозно-поисковых моделей. Для многих крупных и гигантских месторождений золота, урана, полиметаллов, алмазов и других полезных ископаемых [1, 2] устанавливается связь с крупными структурами земной коры, которые находят свое отражение в материалах региональных геологических, геофизических и космических исследований.

В последние годы получены новые данные об особенностях геологического строения, петрологии магматических образований и вещественном составе руд Калгутинского месторождения, позволяющие утверждать о значительном энергетическом и вещественном влиянии мантийного источника на Калгутинскую флюидно-магматическую систему. Применение мультиспектральных космических съемок, обладающих значительной обзорностью, высокой информативностью при соответствующем пространственном разрешении, позволяют получить новые данные о региональных геологических структурах и глубинном строении района месторождения. При этом появляется ряд новых структур, которые ранее не выделялись при выполнении наземных геологических и геофизических исследований.