

МАГМАТОГЕННЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА: ФАКТЫ И АРГУМЕНТЫ

Обсуждаются традиционные методы реконструкции золотопроизводящей способности гранитных расплавов и не преодоленные трудности в достижении достоверной оценки генерации в них металлоносных флюидов в объемах, достаточных для образования промышленных гидротермальных месторождений золота. Приведена совокупность новых дополняющих один другой фактов в обоснование представления о генерации металлоносных флюидов в базальтовых расплавах, завершающих становление антидромных гранит-диорит-долеритовых флюидно-рудно-магматических комплексов.

Ключевые слова: гидротермальные месторождения золота; гранитогенная; базальтогенная концепции; флюидно-рудно-магматические гранит-диорит-долеритовые комплексы.

Введение

Исследование гидротермального рудообразования в аспекте обусловленности, инициирования его более масштабными геологическими процессами представляет известные трудности, в основном, по причине ограниченной доступности подрудного пространства – глубинных составляющих рудообразующих систем. Доступность подрудного пространства, хотя и ограниченная, обеспечивается некоторыми явлениями: например, синхронным с рудами образованием в месторождениях магматических пород, с которыми обычно ассоциируют полезные ископаемые конкретных видов; унаследованностью рудами и/или околорудными метасоматитами особенностей генерирующих металлоносные флюиды источников – изотопными составами химических элементов или их зафиксированными в минералах руд и пород специфическими ассоциациями, представляющими петрохимическое своеобразие магматизма и др. Однако трудоемкость операций при поисках упомянутых особенностей вещественных производных рудообразования, нередко в условиях ограниченной информативности объектов исследований, не способствует устранению дефицита фактов. Это служит питательной средой для возникновения гипотез и объясняет несовершенство или незавершенность теории, в частности, гидротермального рудообразования в металлогенических ее аспектах, в приложении ко многим видам полезных ископаемых. Успехи в данной области знаний настолько скромны, что с известным высказыванием С.С. Смирнова [1] о невозможности полстолетия назад создать геолого-генетическую классификацию месторождений полезных ископаемых и тем самым наделить ее отсутствующими в генетической классификации прогностическими функциями нельзя не согласиться и сейчас.

В статье обсуждаются два сценария образования считающихся магматогенными гидротермальных месторождений золота. Согласно одному сценарию, отвечающему гранитогенной концепции, образование месторождений обусловлено функционированием гранитоидных магматических очагов, в которых генерируются металлоносные флюиды. В обоснование альтернативного сценария, сочетающего в себе элементы гранитогенной и базальтогенной концепций, привлекаются обнаруженные в последние десятиле-

тия факты, актуальные для оценки жизнеспособности не только упомянутых магматогенных концепций, но и двух других – метаморфогенной и полигенной. Сопоставление этих фактов с доказательными базами обеих концепций, предполагающих образование месторождений соответственно в условиях регионального метаморфизма или нескольких сменяющих друг друга во времени не связанных между собой геологических процессов и породные источники золота, составит предмет отдельного обсуждения.

Гранитогенный сценарий

Наиболее ранняя из известных концепций – существующая более столетия гранитогенная концепция образования гидротермальных месторождений золота – предполагает генерацию металлоносных флюидов в крупнообъемных очагах кислой магмы, унаследованных плутонами, массивами гранитоидов. Вероятно, факты пространственно-временной близости с ними месторождений в сочетании с данными о зональном расположении гидротермального оруденения относительно гранитных массивов [2–7 и др.] служили в прошлом сильным (сохраняющим и сейчас свое влияние) аргументом в разработке методологии и методов исследований связей рудообразования с магматизмом в направлении поисков доказательств генерации металлоносных флюидов в гранитных магмах. Несомненно, аргумент усилился после смены парадигмы в 70-х годах прошлого столетия – представление о металлогенической специализации магматических комплексов предлагалось заменить представлением об их потенциальной рудоносности [8, 9], а также после экспериментального подтверждения в тех же годах способности гранитных расплавов генерировать золотоносные флюиды в количествах, достаточных для создания промышленных месторождений [10]. Отсутствие металлогенической специализации магматических комплексов подчеркивается, в частности, явлениями накопления золота в конечных, обогащенных флюидной фазой дифференциатах гранитоидного магматизма в одних районах [11, 12 и др.] или обеднением металлом поздних производных дифференциации гранитоидных магм – в других [13 и др.]. В том и другом случае с массивами гранитоидов ассоциируют или не сопровождают их близкие к ним по возрасту промышленные месторождения золота.

Реализуемая длительное время методология научного поиска опирается на глубокое убеждение многих геологов в том, что золотопродуцирующая способность гранитных расплавов и генерация в них золотоносных флюидов в объемах, достаточных для образования промышленных месторождений, включая уникальные, могут быть доказаны посредством реконструкции термодинамических и физико-химических режимов, происходящих в очагах гранитной магмы процессов, с учетом химических свойств золота. Разработаны и уже реализуются тонкие методы диагностики температур, давлений, окислительно-восстановительных режимов в очагах, кислотно-основных свойств расплавов, фугитивностей и парциальных давлений летучих – H_2O , CO_2 , HCl , CH_4 , H_2 , N_2 , S , концентраций в расплавах серы, обладающей высоким сродством с золотом, распределением металлов между жидкой и твердой фазами при кристаллизации расплавов, форм вхождения и уровней накопления золота и других металлов в кристаллизующихся минералах, явлений контаминации расплавов вмещающими породами разных составов и их влияния на физико-химические параметры расплавов и др.

Источниками информации для оценки факторов золотоносности расплавов, способности флюидов экстрагировать золото из расплавов и покидать их служат породы, минералы гранитоидов в сочетании с результатами эксперимента, моделирования.

В результате определены факторы и их сочетания, благоприятствующие накоплению золота во флюидах, отделению от расплавов металлоносных флюидов; выделены петрогенетические типы и конкретные массивы гранитоидов, со становлением которых связывают образование конкретных так называемых интрузивно плутоно-связанных (pluton-related) месторождений [14–25 и др.].

Базальтогенный сценарий

Предлагаемый альтернативный сценарий раскрывает иные условия функционирования рудообразующих систем.

Носителями информации служат гидротермальные месторождения золота: Когадыр (южный Казахстан), Восточное (южное Прибалхашье), Центральное, Бериккульское (Кузнецкий Алатау), Советское (Енисейский край), Зун-Холба, Зун-Оспа (юго-восток Восточного Саяна), Ирокиндинское, Западное, Кедровское, Богодиканское, Каралонское, Уряхское, Верхне-Сауканское (Северное Забайкалье), Сухой Лог, Вернинское, Медвежье (Ленский район), Чертово Корыто (Патомское нагорье). Они образовались в возрастном диапазоне от позднего рифея (Советское) до позднего палеозоя (остальные) в ультраметаморфических, плутонических, вулканических, черносланцевых комплексах. Многообразие по строению, составу, происхождению среды рудообразования и следующие из него возможности анализа и синтеза достоверных, воспроизводимых данных о производных рудообразующих процессов в сравнительном аспекте – как предполагалось, подтвердилось и показано далее – обеспечивает коррекцию выводов в направлении уси-

ления или понижения обоснованности концепций и отказа от очевидно несостоятельных.

Обсуждаемые месторождения ассоциируют с плутоническими породами, которые участвуют в составе стандартных повторяющихся во времени и пространстве антидромных гранит-диорит-долеритовых комплексов [26–29 и др.]. Ранние гранитоиды слагают крупные массивы (Центральнинский, Дудетский, Амбартогольский и др.), в надинтрузивном пространстве – более или менее многочисленные дайки пегматитов, аплитов, гранит-порфиров, фельзитовых микрогранит-порфиров, занимают ядра зрелых ультраметаморфических очагово-купольных построек (Кедровской и др.). Версия о палингенном происхождении контролируемых глубинными разломами гранитоидов доказывается $^{87}Sr/^{86}Sr$ -отношениями и удовлетворительно объясняет способ решения природной проблемы пространства. Гранитоиды сменяются прорывающими или пересекающими их дайками диоритоидов – микродиоритов, диоритовых порфиров мощностью до 20 м. Завершают становление комплексов, как правило, маломощные (до 2 м) дорудные, внутрирудные, послерудные (позднерудные) дайки умеренно щелочных долеритов до пяти, возможно более, генераций. Относительный возраст даек доказывается взаимопересечениями их между собой и с рудно-минеральными комплексами, а также признаками термического воздействия поздних образований на ранние: вакуоли ранних кварцев в экзоконтактах пересекающих кварц даек разгерметизированы («взорваны»), а ранние дайки в зальбандах пересекающих их кварцевых жил или прожилков гидротермально изменены (березитизированы). Радиологический возраст ранних гранитоидов и околорудных березитов, а следовательно, руд и чередующихся с рудно-минеральными комплексами долеритов, как правило, укладывается в диапазон от первых миллионов до первых десятков миллионов лет [4–7, 26–29 и др.]. Таким образом, определилось возрастное положение и участие в рудообразовании магматических пород, названных В.С. Коптевым-Дворниковым полстолетия назад дайками второго этапа. В 18 изученных месторождениях, кроме Бериккульского, даек иных видов и разновидностей не установлено. В Бериккульском месторождении (474 млн лет) [26] известны послерудные дайки кварцевых сельвсбергитов, которые принадлежат к девонскому комплексу щелочных пород.

В реконструкции связей рудообразования с магматизмом наиболее информативны дорудные и внутрирудные дайки долеритов.

Дорудные дайки умеренно щелочных долеритов идентифицированы в большинстве обсуждаемых месторождений, в частности в массивах гранитоидов. В гранитоидах дайки, усиливающие анизотропию механических свойств среды, нередко сопровождаются золотоносными кварцевыми жилами, в зальбандах жил на мощность до десятков сантиметров преобразованы в березиты, сменяемые далее от жил пропилитами, что в более крупных объемах свойственно околорудным метасоматическим ореолам мезотермальных месторождений золота. В останцах слабого изменения наиболее мощных даек их минерало-химический состав отвечает базальтам.

Внутрирудные дайки обнаружены во вмещающих месторождения породах многих видов, включая толщи черных сланцев раннепротерозойской михайловской (Чертово Корыто), позднерифейских кедровской (Кедровское), водораздельной (Каралонское, Уряхское) свит, покровные базальты берикольской свиты (Є₂) (Берикольское), гранитоиды среднепалеозойского Амбартопольского массива (Зун-Холба) [27–29 и др.], черные сланцы хомолхинской, имняхской (Сухой Лог) свит [30 и др.].

Дайки неравномерно преобразованы в метасоматиты специфического минерального состава. В редких «останцах» слабого изменения они сложены лейстами лабрадора в сростании с кристаллами и агрегатами кристаллов авгита. Как и аподолеритовые метасоматиты, породы имеют массивное сложение и «спаянные» с вмещающими породами контакты. Метасоматиты унаследовали черный цвет, средне-, мелкозернистое строение исходных долеритов, внешне не отличимы от последних.

В составе минеральных новообразований участвует разноцветный, от грязно-зеленого до буро-красного с множеством промежуточных оттенков биотит (до 60 об. %), образующий одиночные пластинки, обычно крупно- до мелкочешуйчатых агрегаты, «венчики» тонких чешуек вокруг полностью замещенных бывших кристаллов авгита с характерными для них контурами. Биотит в обрамлении бывших кристаллов авгита свежий, не замещен, как в массе породы, другими эпигенетическими минералами и представляет наиболее позднюю его генерацию. Только в участках интенсивного преобразования долеритов присутствуют обычно с незавершенными, «рваными» контурами кристаллы бледно-зеленой магнезиально-железистой

обыкновенной роговой обманки (до 20 об. %), что доказывает эпигенетическое, на этапе внутридайкового метасоматизма, ее образование. В разных количественных соотношениях в метасоматитах участвуют чешуйки бледно-зеленого магнезиально-железистого хлорита, серицита, зерна кварца, эпидота, актинолита, тремолита, альбита, кальцита, титанита, рутила, лейкоксена, апатита, сульфидов. Агрегаты эпигенетических минералов нередко сохраняют лейстовидную форму первичного лабрадора. Метасоматиты, как правило, обогащены золотом до 3 г/т.

Согласно балансовым расчетам на основе петрохимических пересчетов по объемно-атомному методу полных химических силикатных анализов исходных долеритов и аподолеритовых метасоматитов последние, как и околорудные березиты-пропилиты [31, 32], образованы в результате калиево-сернисто-углекислотного метасоматизма с удалением (до 95 мас. %) натрия и частично (до 50 мас. %) кремния, но с поступлением с флюидами и фиксацией калия, восстановленной серы, углекислоты, благородных, цветных металлов и элементов фемофильной ассоциации – фосфора, титана, магния, железа, кальция, марганца, с возрастанием их содержаний против исходных долеритов до сотен... первых тысяч мас. % (таблица) [32]. Однако унаследование околорудными березитами-пропилитами петрохимических черт внутридайковых аподолеритовых метасоматитов сопровождалось кристаллизацией в первых наряду с магнезиально-железистым хлоритом серицита и магнезиально-железистых карбонатов, а не более высокотемпературных минералов-носителей магния и железа – биотита и магнезиально-железистой обыкновенной роговой обманки, образованных во вторых.

Химические составы умеренно щелочного долерита, аподолеритовых метасоматитов внутрирудных даек и баланс химических элементов в минеральных зонах аподайковых метасоматических ореолов Кедровского месторождения

Номера проб и минеральных зон	Содержание окислов в мас. % (первая строка). Величина привноса, выноса (–) атомов элементов в стандартном геометрическом объеме 10000 Å ³ в % к числу их атомов в стандартном геометрическом объеме исходной породы (вторая строка)																
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	CO ₂	S*	H ₂ O ⁺	O	Σ	
	Si	Al	K	Na	Ca	Mg	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Ti	P	Mn	C		H		(Δ)	
*	45–50	14–17	1–3	3–4	6–8	6–8	6–8	3–5	2–4	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	–	
2 0	49,72	14,94	0,90	3,05	8,47	7,43	8,03	2,86	1,41	0,35	0,19	0,35	0,13	1,81	–	99,64	
K-496 IV	38,26 –19,8	13,54 –5,5	5,30 513	0,77 –74	9,50 17	12,8 80	7,19 –6,8	3,51 28	2,18 61	1,44 329	0,25 37	3,44 926	0,12 –3,8	1,70 –2,1	1,7	100,00 (19)	
K-363 V	37,25 –23,5	10,44 –28,6	1,27 44,8	1,36 –54	8,83 6,4	8,90 23	12,3 56,4	4,05 44,6	4,65 236	0,60 74,9	0,24 28,9	6,34 1752	0,00 –100	3,56 102	2,6	99,79 (21)	
K-562 V	38,0 –17,1	10,80 –21,6	3,16 281	0,39 –86	11,2 43,6	15,3 123	7,49 1,1	3,88 47,2	2,10 61,7	1,08 234	0,29 65,6	2,89 797	0,27 125	2,54 52	5,5	99,39 (24)	
K-486 VIII	33,80 –30,6	8,16 –44	2,72 209	0,02 –99	12,0 45	12,9 78	6,87 –12	2,27 –19	1,95 41	1,17 241	0,33 77	14,4 4107	0,13 2,2	1,98 12	5,9	98,70 (29)	

Примечание. * – нормативный состав трахибазальта (умеренно щелочного долерита) [33]. Составы минеральных зон: 0 – хлорит + серпентин + тальк + кальцит; IV – биотит + актинолит + тремолит + кварц + эпидот + хлорит + рутил + апатит + целестин + кальцит + доломит + магнетит + пирит; V – биотит + хлорит + эпидот + серицит + кварц + рутил + альбит + кальцит + доломит + анкерит + апатит + магнетит + пирит; VIII – биотит + кальцит-доломит + кварц + рутил + апатит + магнетит + пирит. S* – сера восстановленная. Δ (количественный показатель интенсивности метасоматических преобразований пород) – удельная масса перемещенного (привнесенного и вынесенного) вещества (суммы атомов петрогенных элементов) в процентах к массе вещества исходной породы в стандартном геометрическом объеме 10000 Å³.

Интенсивность метасоматических преобразований внутрирудных даек не зависит от степени гидротермальных изменений вмещающих пород, так как дайки полнопроявленных аподолеритовых метасоматитов пересекают не затронутые изменениями и гидротермально измененные вплоть до березитов гранитоиды, мигматиты, гнейсы, углеродистые

сланцы и другие породы. Это означает, что внутрирудные дайки на этапе рудообразования аккумулируют поднимающиеся по разломам потоки (струи) горячих металлоносных растворов и, обладая массивным сложением, выполняют функцию тепловых флюидопроводников. Выполнять эту функцию, согласно известному физическому закону [34], они

способны только в горячем состоянии, залегая среди относительно холодных пород.

Обсуждение результатов и выводы

Наряду с очевидными достижениями в познании условий становления массивов плутонических пород кислого состава в обосновании сохраняющей в течение столетия популярность гранитогенной концепции рудообразования остаются вопросы, отсутствие ответов на которые, вероятно, определяет сосуществование с гранитогенной и других концепций.

Ключевые вопросы следуют из необходимости доказательств не только возникновения в гранитоидных расплавах благоприятных условий для генерации металлоносных флюидов, но и накопления их в достаточных для образования промышленных месторождений объемах. В равной степени полезно обосновать образование известных ассоциированных с гранитоидными массивами близких к ним по возрасту месторождений золота металлоносными флюидами, генерированными в гранитоидных унаследованных массивах очагах, а не в сосуществующих с ними базальтовых расплавах.

Силикатные расплавы, как известно, представляют собой чрезвычайно динамичную субстанцию, которая во время своего длительного по меркам геологического времени существования испытывает множество трансформаций термодинамических и физико-химических режимов, многократных и разнонаправленных изменений фугитивностей, парциальных давлений, концентраций компонентов, обусловленных явлениями магматической дифференциации, подтоком вещества, дегазацией расплавов, неравномерным в объемах камер охлаждением, термо-бародиффузией, кристаллизацией минералов, фракционированием расплавов и т.д.

Гранитоиды в верхних частях былых магматических камер предшествуют началу рудообразования, поскольку в них залегают многие месторождения. В связи с этим гранитогенная концепция предполагает генерацию горячих металлоносных флюидов, естественно, не в ранних наследованных вмещающих месторождения гранитоидами расплавах, а в поздних, сохранявшихся на больших глубинах магматических камер. Естественно также предположить, что в верхние (апикальные) части массивов гранитоидов из глубже-расположенных очагов остаточной магмы поступают не только создающие месторождения горячие металлоносные, вероятно газовые, флюиды, но и генерирующие последние остаточные расплавы. Породы, образованные в результате кристаллизации именно этих расплавов, могут служить источниками информации об их золотопродуцирующей способности.

Таким образом, в объеме каждого конкретного месторождения вмещающий его массив сложен ранними гранитоидами, как правило, многих видов и разновидностей, и, возможно, поздними, с которыми в генетической связи, по версии концепции, состоят руды как производные одного источника – глубинного остаточного магматического очага.

Среди всего этого многообразия по внешним признакам, цвету, составу, строению, как правило, сход-

ных пород необходимо диагностировать те, которые достоверно представляют расплавы, от которых отделились металлоносные флюиды, не вообще обогащенные золотом или соответствующие представлениям о том, каким требованиям они должны удовлетворять, но и способные создавать промышленные месторождения. Для этого необходимо при отборе проб для исследования и последующей интерпретации результатов располагать соответствующими критериями и признаками, которые в публикациях по проблеме, как правило, не обсуждаются. Вследствие этого возникают сомнения в корректности исследования и следующих из него выводов. Оснований для сомнений более чем достаточно. Одно из них – упомянутый выше факт отсутствия корреляции между пространственно-временной ассоциацией месторождений золота и массивами гранитоидов как обогащенных, так и обедненных золотом. Этот факт дает основание сомневаться в справедливости (корректности) популярного представления о том, что повышенные, высокие концентрации золота в минералах гранитоидов (скажем, в сульфидах) есть доказательство того, что оно концентрируется и выделяется с газовыми флюидами из расплавов, создавая промышленные месторождения. В равной степени это относится к представлению о том, что флюиды с высокими концентрациями восстановленной серы экстрагируют золото из расплавов и выносят его из магматических очагов в необходимых для создания промышленных месторождений количествах. Может быть, это так, а может, и нет, – расплавам иного, скажем, базальтового состава не возбраняется проделывать то же самое. Поэтому диаграммы, подобные, например, приведенной в [35], на которой в координатах $\lg(X_{Mg}/X_{Fe}) - \lg(X_F/X_{OH})$ для биотитов золотогенерирующих (?) гранитоидов показаны поля слабоконтаминированных, умеренно контаминированных, сильноконтamинированных, сильноконтamинированных и редуцированных гранитоидов и положение мелких, средних, крупных, гигантских месторождений золота в этих полях, отражают скорее гипотетические представления авторов, а не реальную ситуацию. Проблематично звено, способное связать дифференцированные по масштабам запасов месторождения с перечисленными полями диаграммы.

Приходится констатировать, что реконструированные посредством изучения гранитоидов и отраженные на диаграммах режимы их кристаллизации, особенности режимов, обеспечивающие, по мнению авторов диаграмм, накопление золота во флюидах, выделение последних из расплавов, ограничены магматическими камерами. Дальнейшее функционирование флюидов вне магматических камер остается неизвестным, поскольку проследить пути их движения из магматических очагов в области рудообразования в недоступном подручном пространстве не дано. Как следствие, остается открытым ключевой вопрос о происхождении создавших месторождения флюидов, так как прервана последовательность событий, а гранитоиды, в отличие от базальтоидов, не обладают специфическими особенностями, которые были бы унаследованы рудами и диагностированы в них. Редко фиксируемое участие кислых и щелочных полевых

шпатов в золоторудных кварцевых жилах, например, может быть обусловлено не унаследованием последними состава гранитоидов, как это обычно объясняется, а доказанными, в отличие от теории [36], эмпирическими данными о подвижности глинозема в процессах кислотного окolorудного метасоматизма (березитизации) и концентрационной диффузии его из поровых растворов сравнительно высокоглиноземистых пород в заполняемые кварцем трещинные [37], в которых присутствуют необходимые для образования полевых шпатов щелочные металлы и кремнезем. Представление о золотоносных флюидах как о силикатно-солевых системах (вплоть до рассолов), предложенное в качестве одного из признаков генерации металлоносных флюидов в гранитоидных расплавах и, следовательно, генетической связи рудообразования с гранитоидным магматизмом [38, 39] во многих случаях не согласуется с фактами обычного выноса кремнезема из боковых пород до 50 мас. % от его первоначальной массы при их березитизации [32]. Последнее возможно только в случае щелочного режима ранних порций поступающих в область рудообразования металлоносных флюидов, их стерильности в отношении SiO_2 [32]. Фиксируемая в вакуолях минералов руд обычно низкая соленость (до 20 % мас.-экв. NaCl) флюидов [40] также противоречит представлению о последних как о силикатно-солевых системах.

Вместе с тем природа оставила в магматических породах и их соотношениях с рудами следы и свидетельства того, как она действовала, создавая месторождения золота.

В месторождениях, образованных вслед за массивами вмещающих их гранитоидов и залегающих в обрамлении последних – раннепалеозойских Беркульском, Центральном, среднепалеозойских Зун-Холбинском, Зун-Оспинском, позднепалеозойских Кедровском, Богодиканском, Уряхском [27–29, 41], составы послегранитных предрудных даек умеренно щелочных долеритов в «останцах» слабого изменения, сохранившихся при окolorудной березитизации-пропилитизации, отвечают нормативным составам умеренно щелочных базальтов. Этот легко проверяемый факт означает, что к моменту внедрения ранних порций умеренно щелочных базальтовых расплавов сопровождающего рудообразования базитового магматизма остаточных гранитных расплавов уже не существовало. В противном случае, неизбежное смешение тех и других расплавов завершалось бы образованием гибридных даек пестрых составов, обусловленных переменными количественными соотношениями гранитоидной и базальтовой составляющих, которых в изученных месторождениях не обнаружено. Отсутствующие полностью раскристаллизованные остаточные гранитоидные расплавы не могут служить источниками металлоносных флюидов, которые поступают в области рудообразования после внедрения ранних порций умеренно щелочных базальтовых расплавов. Гранитоиды всегда предшествуют рудообразованию, базальтоиды сопровождают его.

Приведенный факт свидетельствует о том, что пространственно-временная близость так называемых интрузивно-связанных, плутоно-связанных (pluton-related) [15, 17, 20, 23 и др.] гидротермальных место-

рождений золота с массивами гранитоидов еще не есть безупречное доказательство генерации металлоносных флюидов в гранитоидных расплавах. Гранитоидные массивы могут выполнять более скромную функцию, чем им предписывает гранитогенная концепция, – месторождения с ними связаны лишь парагенетически.

Предпосылки для написания иного сценария развития событий создают следующие ключевые альтернативные факты:

1) многоактное чередующее с металлоносными флюидами внедрение умеренно щелочных базальтовых расплавов;

2) инъекции вслед за расплавами в образованные ими, но еще горячие внутрирудные долеритовые дайки-флюидопроводники металлоносных флюидов, что оценивается как один из признаков единства источников тех и других – очагов умеренно щелочной базальтовой магмы;

3) фемофильная специализация базальтовых расплавов и золотоносных флюидов, подтверждающая вывод о единстве их источников;

4) наследование окolorудными березитами калиево-сернисто-углекислотного профиля внутридайкового аподолеритового метасоматизма и образованных в аподолеритовых метасоматитах контрастных аномалий фемофильных элементов, доказывающее внутридайковый аподолеритовый, окolorудный метасоматизм и рудообразование как следствие функционирования одних и тех же генерированных в базальтовых очагах металлоносных флюидов.

Формирование антидромных гранит-диорит-долеритовых комплексов и рудообразующих систем в их составе обязано функционированию очагов базальтовой магмы.

На раннем этапе очаги генерируют высокотемпературные «безрудные» флюиды-теплоносители, подъем которых по глубинным разломам сопровождается плавлением сиалического субстрата земной коры и образованием отвечающих его составу кислых расплавов, последующая кристаллизация которых завершается созданием гранитоидных массивов (плутонов) в сопровождении даек. Палингенное происхождение массивов доказывается изотопными отношениями стронция в гранитах, отвечающими метеоритному стандарту [4–7].

Дальнейшая эволюция базальтовых расплавов выражается в слабой дифференциации общего для всех обсуждаемых золотопродуцирующих систем явления. Базальтовые расплавы трансформируются в умеренно щелочные, генерирующие золотоносные флюиды, специализированные на Au, Ag, Hg, цветные металлы и комплекс фемофильных элементов K, P, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn, определяющих петрохимические черты базальтовых расплавов.

Умеренно щелочные базальтовые расплавы и следующие за ними металлоносные флюиды поднимаются из очагов генерации по глубинным контролирующим размещением в земной коре антидромных магматических комплексов разломам, металлоносные флюиды, кроме того, – по горячим внутрирудным дайкам-флюидопроводникам умеренно щелочных долеритов

вслед за создавшими их расплавами через промежутки времени, в течение которых расплавы кристаллизуются, но образованные ими дайки не успевают остыть, – в холодном состоянии они были бы не способны выполнять флюидопроводящую функцию и, следовательно, аккумулировать струи металлоносных флюидов.

Металлоносность фильтрующихся по внутрирудным дайкам долеритов флюидов доказывается образованием во внутридайковых аподолеритовых метасоматитах контрастных аномалий золота и перечисленных фемофильных элементов, повторяющихся выше в околорудных метасоматитах и рудах в обрамлении контролирующих месторождения через флюидоподводящую функцию глубинных разломов. Последний факт в сочетании с образованием аподолеритовых и околорудных метасоматитов в условиях калиево-сернисто-углекислотного метасоматизма, т.е. процесса одного петрохимического профиля, но разных температурных режимов вследствие охлаждения поднимающихся флюидов оценивается как свидетельство того, что те и другие метасоматиты и руды образованы в результате взаимодействия с разными породами одних и тех же металлоносных флюидов. В свою очередь флюидоподводящая функция глубинных разломов доказывается снижением до кларковых уровней контрастных аномалий титана и фосфора в околорудных березитах и запасов золота в рудах по мере удаления от глубинных разломов [31].

Кристаллизация высокотемпературных биотита и обыкновенной роговой обманки только в аподайковых метасоматитах свидетельствует о более высокотемпературных режимах фильтрующихся по горячим внутрирудным дайкам металлоносных флюидов сравнительно с температурными режимами околорудного метасоматизма и рудообразования, очевидно, вследствие охлаждения флюидов на путях подъема. Образование в аподолеритовых метасоматитах биотита поздней генерации в обрамлении полностью замещенных агрегатами относительно низкотемпературных хлорита, эпидота, серицита кристаллов авгита без признаков замещения пластинок слюды ранее образованными частично замещающими биотит ранней генерации перечисленными минералами обусловлено поступлением поздней порции высокотемпературного флюида после охлаждения предшествующей. Этот температурный признак пульсационного режима согласуется с признаками пульсационного режима поступления металлоносных флюидов при околорудном метасоматизме и рудообразовании [29, 40].

Биотит и обыкновенная роговая обманка – типоморфные минералы внутридайковых аподолеритовых метасоматитов. При отсутствии данных о структурных соотношениях даек долеритов с рудно-минеральными комплексами эти минералы служат

единственными надежными признаками внутрирудного возраста даек.

Совокупность приведенных непротиворечивых, напротив, взаимно дополняющих друг друга фактов и их очевидная, как представляется, интерпретация сводят к минимуму гипотетические мотивы в реконструкции реальных источников поздних золотоносных (металлоносных) флюидов, путей их подъема в верхние горизонты земной коры – области рудообразования – и обеспечивает понимание условий образования месторождений золота в объеме типовой модели золотообразующих систем, повторяющихся в разные эпохи и в разных геологических ситуациях, включая толщи черных сланцев.

Согласно этой модели, гидротермальные месторождения золота образуются в составе повторяющихся во времени и пространстве, отвечающих формационному типу антидромных гранит-диорит-долеритовых флюидно-рудно-магматических комплексов в процессе и результате функционирования гидротермальных рудообразующих систем на завершающем базальтоидном этапе их становления. Все составляющие комплексов представляют производные одного петрорудогенетического процесса. Между поздними месторождениями и массивами ранних гранитоидов существует лишь опосредованная парагенетическая связь. Связующее звено между ними – глубинные очаги базальтовой магмы – источники ранних высокотемпературных флюидов-теплоносителей, обеспечивающих по механизму палингенеза образование массивов гранитоидов и поздних металлоносных флюидов, образующих месторождения золота.

Заключение

Генетическая связь гидротермального рудообразования, в приложении к золоту, – с умеренно щелочным базальтовым магматизмом в значительном возрастном диапазоне от позднего рифея до позднего палеозоя, доказываемая в месторождениях, образованных в разных – коллизионном на активных континентальных окраинах и внутриконтинентального рифтогенеза – геодинамических режимах [28], наводит на мысль о существовании металлогенетической специализации на золото выделенного антидромного магматического комплекса. Дальнейшее накопление материалов в плане расширения и углубления доказательной базы предложенного альтернативного сценария, вероятно, усилит конкретизацию этого предположения. В свою очередь, если не будет установлена в аспекте связей с магматизмом конвергенция процессов образования гидротермальных месторождений золота, что вероятно, перспективы гранитогенной гипотезы по обстоятельствам, приведенным выше, представляются призрачными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов С.С. О современном состоянии теории образования магматогенных рудных месторождений // Записки Всесоюзного минералогического общества. Вторая серия. 1947. Ч. 76, вып. 1. С. 23–36.
2. Абдуллаев Х.М. Генетическая связь оруденения с гранитоидными интрузиями. М.: Госгеолтехиздат, 1954. 294 с.
3. Горжеский Д.И., Козеренко В.Н. Связь эндогенного рудообразования с магматизмом и метаморфизмом. М.: Недра, 1965. 300 с.
4. Алабин Л.В., Калинин Ю.А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. Новосибирск: Изд-во СО РАН НИЦ ОИГТМ, 1999. 237 с.

5. Трошин Ю.П., Гребенищикова В.И., Сандомирова Г.Б., Пахольченко Ю.А. Новые данные по рубидий-стронциевому возрасту золоторудных месторождений Кузнецкого Алатау // Доклады РАН. 1999. Т. 365, № 1. С. 108–111.
6. Сердюк С.С. Золотоносные провинции Центральной Сибири: геология, минерагения, перспективы освоения. Красноярск : КНИИГТИМС, 2004. 478 с.
7. Ножкин А.Д., Борисенко А.С., Неволько П.А. Позднепротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм, золотое и золото-урановое оруденение Енисейского кряжа // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых : материалы Междунар. конф., посвящ. 80-летию основания в Томском политехническом университете первой в азиатской части России кафедры «Разведочное дело», г. Томск, 5–8 октября 2010 г. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010. С. 266–274.
8. Таусон Л.В. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М. : Наука, 1977. 267 с.
9. Tingle T.N., Fenn Ph.M. Transport and concentration of molybdenum in granite molibdenite systems: Effects of fluorine and sulfur // *Geology*. 1984. Vol. 12, № 3. P. 156–158.
10. Рябчиков И.Д., Ефимов А.Е., Кулагин В.М., Шилин Н.А. Физико-химический анализ поведения золота в процессе дегазации магм // Проблемы геохимии эндогенных процессов. Новосибирск : Наука, 1977. С. 14–18.
11. Коваленко В.И., Кузьмин М.И., Коваль В.В. Геохимические типы мезозойских гранитоидов Монголии и их металлогения // Закономерности размещения полезных ископаемых. М. : Наука, 1975. Т. XI. С. 329–334.
12. Шилин Н.Л., Кумеев С.С., Колосков А.В. Золото в калиевых полевых шпатах из интрузивных и метасоматических образований // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1988. № 10. С. 93–101.
13. Амузинский В.А. Геохимические особенности распределения золота в магматических породах Верхоянской антиклинальной зоны // Минералогия и геохимия производных гранитоидного магматизма. Якутск : Ин-т геологии Якут. филиала СО АН СССР, 1981. С. 89–98.
14. Leveille R.S.A., Newberry R.J., Bull K.F. An oxidation state-alkalinity diagram for discrimination some gold-favorable plutons: An empirical and phenomenological approach // *Geological Society of America*. 1988. Vol. 20. P. 142–153.
15. McCoy D., Newberry R.J., Laver P.D., Marchi J.J., Bakke A., Masterman J.S., Minehane D.L. Plutonic-Related Gold Deposits of Interior Alaska // *Economic Geology Monograph*. 1997. Vol. 9. P. 191–241.
16. Thompson J.F.H., Newberry R.J. Gold deposits related to reduced granitic intrusions // *Society of Economic Geologists, Reviews* 13. 2000. P. 377–400.
17. Lang J.R., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // *Mineralium Deposita*. 2001. Vol. 36. P. 477–489.
18. Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales // *Mineralium Deposita*. 2001. Vol. 36, № 4. P. 542–562.
19. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахареv А.Г., Колесниченко П.П., Зайцев А.И., Диман Е.Н., Бердников Н.В. Условия зарождения и эволюции гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозойдах Северо-Востока Азии. Магадан : СВ КНИИ ДВО РАН, 2003. 196 с.
20. Marsh E.E., Goldfarb R.J., Hart C.J.R., Johnson C.A. Geology and geochemistry of the Clear Creek intrusion-related gold occurrences, Tintina Gold Province, Yukon, Canada // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2003. Vol. 40, № 5. P. 681–699.
21. Yang X.M., Lentz D.R., Chi G., Thorne K.G. Petrochemical Characteristics of Gold-Related Granitoids in southwestern New Brunswick, Canada. *LITHOS*. 2008. Vol. 104. P. 355–377.
22. Yang X.M., Lentz D.R. Chemical composition of rock-forming minerals in gold-related granitoid intrusions, southwestern New Brunswick, Canada: implications for crystallization conditions, volatile exsolution and fluorine-chlorine activity // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2005. Vol. 150. P. 287–305.
23. Hart C.J.R. Reduced Intrusion-Related Gold Systems // *Economic Geology*. 2006. Vol. 101, № 7. P. 1415–1427.
24. Yang X.M., Lentz D.R., Sylvester P.J. Gold contents of sulfide minerals in granitoids from southwestern New Brunswick, Canada // *Mineralium Deposita*. 2006. Vol. 41. P. 369–386.
25. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. М. : Изд-во РАН, 2012. 160 с.
26. Кучеренко И.В. Позднепалеозойская эпоха золотого оруденения в докембрийском обрамлении Сибирской платформы // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1989. № 6. С. 90–102.
27. Кучеренко И.В. Пространственно-временные и петрохимические критерии связи образования золотого оруденения с глубинным магматизмом // Известия АН СССР. Серия геологическая. 1990. № 10. С. 78–91.
28. Кучеренко И.В. Петрологические и металлогенические следствия изучения малых интрузий в мезотермальных золоторудных полях // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307, № 1. С. 49–57.
29. Кучеренко И.В. Металлогения золота: приложение к мезотермальным месторождениям, образованным в несланцевом и черносланцевом субстрате горно-складчатых сооружений южной Сибири // Современные проблемы геологии и разведки полезных ископаемых : материалы Междунар. конф., посвящ. 80-летию основания в Томском политехническом университете первой в азиатской части России кафедры «Разведочное дело», г. Томск, 5–8 октября 2010 г. Томск : Изд-во Том. политехн. ун-та, 2010а. С. 241–256.
30. Шер С.Д. Жильные изверженные породы основного состава в бассейне р. Бодайбо и их соотношения с кварцевыми жилами // Труды Центрального научно-исследовательского геологоразведочного института. 1959. Вып. 4. С. 104–114.
31. Кучеренко И.В. О фосфор-магний-титановой специализации золотоносных березитов // Доклады АН СССР. 1987. Т. 293, № 2. С. 443–447.
32. Kucherenko I.V., Gavrillov R.Yu. Femophilic elements in wallrock metasomatites as in ores of mesothermal gold deposits – newsletter of mantle deep // *International Journal of applied and fundamental research*. 2011. № 1. P. 37–43.
33. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / под ред. О.А. Богатикова, О.В. Петрова, Л.Н. Шарпенка. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.
34. Поспелов Г.Л. Геологические предпосылки к физике рудоконтролирующих флюидопроводников // Геология и геофизика. 1963. № 3. С. 18–19.
35. Ague J.J., Brimhall G.H. Regional variations in bulk chemistry, mineralogy and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholiths of California // *Geological Society of America Bulletin*. 1988. Vol. 100, № 6. P. 891–911.
36. Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов // Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М. : Изд-во АН СССР, 1953. С. 335–456.
37. Кучеренко И.В. Гидродинамика трещинно-поровых породно-флюидных взаимодействий и механизм массопереноса в процессах около-трещинного гидротермального метасоматизма // Разведка и охрана недр. 2010б. № 11. С. 37–43.
38. Сук Н.И. Поведение рудных элементов в расслаивающихся силикатно-солевых системах // Петрология. 1977. Т. 5, № 1. С. 23–31.
39. Чевычелов В.Ю. Распределение полиметаллов между гранитоидным расплавом, флюидно-солевой и флюидной фазами // Доклады РАН. 1992. Т. 325, № 2. С. 378–381.
40. Вагина Е.А. Минеральные комплексы руд и генезис золоторудного месторождения Чертово Кoryто (Патомское нагорье) // Известия Томского политехнического университета. 2012. Т. 321, № 1. С. 63–69.
41. Кучеренко И.В. Базитовые дайки Богодиканского золоторудного месторождения (Северное Забайкалье) // Известия Томского политехнического университета. 2006. Т. 309, № 6. С. 17–23.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 16 мая 2014 г.

MAGMATOGENE GEOLOGY-GENETIC CONCEPTIONS OF THE HYDROTHERMAL GOLD DEPOSITS FORMATION: FACTS AND ARGUMENTS

Tomsk State University Journal. No. 386 (2014), 214-222. DOI: 10.17223/15617793/386/36

Kucherenko Igor V. Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

Keywords: hydrothermal gold deposits; granitogene; basaltogene conceptions; fluid-ore-magmatic granite-diorite-dolerite complexes.

There is a necessity of replacement of granitogene, basaltogene, metamorphogene, polygene hypotheses of the hydrothermal gold deposits formation founded in the twentieth century by the theory and working up on its base of the mineralization effective prognosis-search criteria complex. The prerequisite for the beginning of this operation is the aggregate of the mutually supplementing established facts revealed mainly in the deposits of the Siberian craton southern fold-mountain framing formed in the age diapason from Late Riphean to Late Paleozoic in crystalline and black-shale substratum. It is advisable to appraise the adequacy of the referred facts with argument systems of every hypothesis and to discuss possibilities to intensify their validity by introducing new data. So far as the latter show the connection of ore formation with magmatism, the evidence of the magmatogene granitogene and basaltogene hypotheses is analysed in the comparative aspect in the first place. The preconditions are given that defined the methodology and methods of the investigations directed at reconstruction of the thermodynamic and physico-chemical regimes of granitoid melts functioning and conditions of its gold-generating capacity realization. The limitations are discussed following from methodology and methods of the scientific research and appearing as a consequence of new data attraction, negatively influencing the trustworthiness of the deductions about granitoid melts ability to generate metalliferous fluids in volumes sufficient for creation of industrial gold deposits. According to an alternative scenario the system of proofs of gold deposits formation at the late basaltoid stage of antidiromic fluid-ore-magmatic complexes includes the following facts: 1) the temporal interval of the complexes formation does not exceed 50 million years; 2) all deposit environments have authentic thermodynamic and physico-chemical regimes of ore-mineral complexes formation; 3) instillation of moderate alkaline basaltic melts repeatedly alters with metalliferous fluids; 4) the instillation of metalliferous fluids occur in melts they formed of hot intra-ore dolerite dikes-fluid bearers; it is estimated as one of the indications of the sources unity of moderate alkaline basaltic magma chambers; 5) femic K, P, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn specialization of basaltic melts and auriferous fluids proves a deduction about the unity of their sources; 6) the inheritance by ore beresites and ores of K-S-carbon dioxide into-dike apodolerite metasomatism type and contrasting femic elements anomalies formed in apodolerite metasomatites proves into-dike apodolerite, by-ore metasomatism and ore formation as a consequence of the functioning of the same metalliferous fluids generated in basaltic chambers.

REFERENCES

1. Smirnov S.S. O sovremennom sostoyanii teorii obrazovaniya magmatogennykh rudnykh mestorozhdeniy [The present state of the theory of formation of magmatic ore deposits]. *Zapiski Vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva. Vtoraya seriya*, 1947, pt. 76, issue 1, pp. 23-36.
2. Abdullaev Kh.M. *Geneticheskaya svyaz' orudneniya s granitoidnymi intruziyami* [Genetic link of mineralization with granitoid intrusions]. Moscow: Gosgeoltekhizdat Publ., 1954. 294 p.
3. Gorzhevskiy D.I., Kozerenko V.N. *Svyaz' endogennogo rudoobrazovaniya s magmatizmom i metamorfizmom* [Connection of endogenous mineralization with magmatism and metamorphism]. Moscow: Nedra Publ., 1965. 300 p.
4. Alabin L.V., Kalinin Yu.A. *Metallogeniya zolota Kuznetskogo Alatau* [Gold metallogeny of the Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk: OIGGM SB RAS Publ., 1999. 237 p.
5. Troshin Yu.P., Grebenshchikova V.I., Sandomirova G.B., Pakhol'chenko Yu.A. Novye dannye po rubidiy-strontsiyevomu vozrastu zolotorudnykh mestorozhdeniy Kuznetskogo Alatau [New data on the rubidium-strontium age of gold deposits of the Kuznetsk Alatau]. *Doklady RAN*, 1999, vol. 365, no. 1, pp. 108-111.
6. Serdyuk S.S. *Zolotonosnyye provintsii Tsentral'noy Sibiri: geologiya, minerageniya, perspektivy osvoeniya* [Gold-bearing province of Central Siberia: geology, metallogeny, exploration prospects]. Krasnoyarsk: KNIIGGIMS Publ., 2004. 478 p.
7. Nozhkin A.D., Borisenko A.S., Nevol'ko P.A. [Proterozoic rift-related and intraplate magmatism, gold and gold-uranium mineralization of the Yenisei Ridge]. *Sovremennye problemy geologii i razvedki poleznykh iskopaemykh: materialy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Modern Problems of Geology and Mineral Exploration: Proceedings of the International Conference]. Tomsk: TPU Publ., 2010, pp. 266-274. (In Russian).
8. Tauson L.V. *Geokhimicheskie tipy i potentsial'naya rudonositel'nost' granitoidov* [Geochemical types and potential ore-bearing of granitoids]. Moscow: Nauka Publ., 1977. 267 p.
9. Tingle T.N., Fenn Ph.M. Transport and concentration of molybdenum in granite-molibdenite systems: Effects of fluorine and sulfur. *Geology*, 1984, vol. 12, no. 3, pp. 156-158.
10. Ryabchikov I.D., Efimov A.E., Kulagin V.M., Shilin N.A. *Fiziko-khimicheskiy analiz povedeniya zolota v protsesse degazatsii magm* [Physico-chemical analysis of the behavior of gold in the process of magma degassing]. In: Shmakn B.M. (ed.) *Problemy geokhimii endogennykh protsessov* [Problems of endogenous processes geochemistry]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1977, pp. 14-18.
11. Kovalenko V.I., Kuz'min M.I., Koval' V.V. *Geokhimicheskie tipy mezazoyskikh granitoidov Mongolii i ikh metallogeniya* [Geochemical types of Mesozoic granitoids of Mongolia and their metallogeny]. In: Smirnov V.I. (ed.) *Zakonomenosti razmeshcheniya poleznykh iskopaemykh* [Regularities of minerals distribution]. Moscow: Nauka Publ., 1975. Vol. XI, pp. 329-334.
12. Shilin N.L., Kumeev S.S., Koloskov A.V. *Zoloto v kalievyykh polevykh shpatakh iz intruzivnykh i metasomaticheskikh obrazovaniy* [Gold in potassium feldspars from intrusive and metasomatic formations]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*, 1988, no. 10, pp. 93-101.
13. Amuzinskiy V.A. *Geokhimicheskie osobennosti raspredeleniya zolota v magmaticheskikh porodakh Verkhoyanskoy antiklinal'noy zony* [Geochemical features of the distribution of gold in igneous rocks of the Verkhoyansk anticlinal zone]. In: *Mineralogiya i geokhimiya proizvodnykh granitoidnogo magmatizma* [Mineralogy and geochemistry of the derivatives of granitoid magmatism]. Yakutsk: Yakut Institute of Geology SB USSR AS, 1981, pp. 89-98.
14. Leveille R.S.A., Newberry R.J., Bull K.F. An oxidation state-alkalinity diagram for discrimination of some gold-favorable plutons: An empirical and phenomenological approach. *Geological Society of America*, 1988, vol. 20, pp. 142-153.
15. McCoy D., Newberry R.J., Lauer P.D., Marchi J.J., Bakke A., Masterman J.S., Minehane D.L. *Plutonic-Related Gold Deposits of Interior Alaska*. In: *Economic Geology*, 1997. Vol. 9, pp. 191-241.
16. Thompson J.F.H., Newberry R.J. Gold deposits related to reduced granitic intrusions. *Society of Economic Geologists, Reviews*, 2000, vol. 13, pp. 377-400.
17. Lang J.R., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding. *Mineralium Deposita*, 2001, vol. 36, issue 6, pp. 477-489. DOI: 10.1007/s001260100184
18. Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales // *Mineralium Deposita*, 2001, vol. 36, issue 6, pp. 542-562. DOI: 10.1007/s001260100188

19. Gamyranin G.N., Goryachev N.A., Bakharev A.G., Kolesnichenko P.P., Zaytsev A.I., Diman E.N., Berdnikov N.V. *Usloviya zarozhdeniya i evolyutsii granitoidnykh zolotorudno-magmaticheskikh sistem v mezozoidakh Severo-Vostoka Azii* [Conditions of the origin and evolution of granitoid gold-magmatic systems in the Mesozooids of Northeast Asia]. Magadan: NE CSRI FEB RAS Publ., 2003. 196 p.
20. Marsh E.E., Goldfarb R.J., Hart C.J.R., Johnson C.A. Geology and geochemistry of the Clear Creek intrusion-related gold occurrences, Tintina Gold Province, Yukon, Canada, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 2003, vol. 40(5), pp. 681-699. DOI: 10.1139/e03-018
21. Yang X.M., Lentz D.R., Chi G., Thorne K.G. Petrochemical Characteristics of Gold-Related Granitoids in southwestern New Brunswick, Canada. *LITHOS*, 2008, vol. 104, pp. 355-377. DOI: 10.1016/j.lithos.2008.01.002
22. Yang X.M., Lentz D.R. Chemical composition of rock-forming minerals in gold-related granitoid intrusions, southwestern New Brunswick, Canada: implications for crystallization conditions, volatile exsolution and fluorine-chlorine activity. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2005, vol. 150, issue 3, pp. 287-305. DOI: 10.1007/s00410-005-0018-7
23. Hart C.J.R. Reduced Intrusion-Related Gold Systems. *Economic Geology*, 2006, vol. 101, no. 7, pp. 1415-1427.
24. Yang X.M., Lentz D.R., Sylvester P.J. Gold contents of sulfide minerals in granitoids from southwestern New Brunswick, Canada. *Mineralium Deposita*, 2006, vol. 41, issue 4, pp. 369-386. DOI: 10.1007/s00126-006-0065-7
25. Gusev A.I. *Petrologiya zolotogeneriruyushchego magmatizma* [Petrology of gold generating magmatism]. Moscow: RANH Publ., 2012. 60 p.
26. Kucherenko I.V. Pozdnepaleozoyskaya epokha zolotogo orudeneniya v dokembriyskom obramlenii Sibirskoy platformy [Late Paleozoic era of gold mineralization in the Precambrian of the Siberian platform]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*, 1989, no. 6, pp. 90-102.
27. Kucherenko I.V. Prostranstvenno-vremennyye i petrokhimicheskiye kriterii svyazi obrazovaniya zolotogo orudeneniya s glubinnym magmatizmom [Spatio-temporal and petrochemical criteria of connection of gold mineralization with deep-earth magmatism]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geologicheskaya*, 1990, no. 10, pp. 78-91.
28. Kucherenko I.V. Petrologicheskie i metallogenicheskie sledstviya izucheniya malykh intruziy v mezotermal'nykh zolotorudnykh polyakh [Petrological and metallogenic consequences of the study of small intrusions in mesothermal gold fields]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, vol. 307, no. 1, pp. 49-57.
29. Kucherenko I.V. [Gold metallogeny: appendix to the mesothermal deposits formed in the non-shale and black shale substrate of folded-mountain structures of southern Siberia]. *Sovremennyye problemy geologii i razvedki poleznykh iskopaemykh: materialy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Modern Problems of Geology and Mineral Exploration: Proceedings of the International Conference]. Tomsk: TPU Publ., 2010a, pp. 241-256. (In Russian).
30. Sher S.D. Zhil'nye izverzhennyye porody osnovnogo sostava v basseynе r. Bodaybo i ikh sootnosheniya s kvartsevyimi zhilami [Vein igneous rocks of basic composition in the Bodaybo river basin. and their relation to quartz veins]. *Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo geologorazvedochnogo instituta*, 1959, issue 4, pp. 104-114.
31. Kucherenko I.V. O fosfor-magniy-titanovoy spetsializatsii zolotonosnykh berezitiv [On phosphorus-magnesium-titanium gold-bearing beresites specialization]. *Doklady AN SSSR*, 1987, vol. 293, no. 2, pp. 443-447.
32. Kucherenko I.V., Gavrilov R.Yu. Femophilic elements in wallrock metasomatites as in ores of mesothermal gold deposits – newsletter of mantle deep. *International Journal of applied and fundamental research*, 2011, no. 1, pp. 37-43.
33. Bogatikov O.A., Petrov O.V., Sharpenok L.N. (eds.) *Petrograficheskiy kodeks. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* [Petrographic Code. Igneous, metamorphic, metasomatic, impact formations]. St. Petersburg: VSEGEI Publ., 2008. 200 p.
34. Pospelov G.L. Geologicheskiye predposylki k fizike rudokontroliruyushchikh flyuidoprovodnikov [Geological prerequisites to the physics of ore-controlling fluid conductors]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 1963, no. 3, pp. 18-19.
35. Ague J.J., Brimhall G.H. Regional variations in bulk chemistry, mineralogy and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholiths of California. *Geological Society of America Bulletin*, 1988, vol. 100, issue 6, pp. 891-911. DOI: 10.1130/0016-7606(1988)100<0912:MAAADO>2.3.CO;2
36. Korzhinskiy D.S. *Ocherk metasomaticheskikh protsessov* [Essay on metasomatic processes]. In: *Osnovnye problemy v uchenii o magmatogennykh rudnykh mestorozhdeniyakh* [Main problems in the study of magmatic ore deposits]. Moscow: USSR AS Publ., 1953, pp. 335-456.
37. Kucherenko I.V. Hydrodynamics of the fracture-pore fluid-rock interactions and mass transfer mechanism in the adjacent-fracture hydrothermal metasomatic processes. *Razvedka i okhrana nedr – Prospect and protection of mineral resources*, 2010b, no. 11, pp. 37-43. (In Russian).
38. Suk N.I. Povedenie rudnykh elementov v rasslaivayushchikhsya silikatno-solevykh sistemakh [Behavior of ore elements in stratified silicate-salt systems]. *Petrologiya*, 1977, vol. 5, no. 1, pp. 23-31.
39. Chevychelov V.Yu. Raspredelenie polimetallov mezhdu granitoidnym rasplavom, flyuidno-solevoy i flyuidnoy fazami [Distribution of polymetals between granitoid melts, fluid-salt and fluid phases]. *Doklady RAN*, 1992, vol. 325, no. 2, pp. 378-381.
40. Vagina E.A. Mineral'nye komplekсы rud i genezis zolotorudnogo mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagor'e) [Mineral ore assemblages and genesis of the Chertovo Koryto gold deposit (Patom Highland)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2012, vol. 321, no. 1, pp. 63-69.
41. Kucherenko I.V. Bazitovyye dayki Bogodikanskogo zolotorudnogo mestorozhdeniya (Severnoe Zabaykal'e) [Basic dikes of the Bogodikanskoye gold deposit (Northern Transbaikalia)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2006, vol. 309, no. 6, pp. 17-23.

Received: 16 May 2014