

Секция 2

МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И ПЕТРОГРАФИЯ

ЗОЛОТОНОСНОСТЬ УЛЬТРАМЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ И ПРОБЛЕМА РУДООБРАЗОВАНИЯ

И.В. Кучеренко, профессор

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Гидротермальное рудообразование, как известно, представляет собой составную часть более масштабных геологических процессов, – магматических или метаморфических в сочетании с региональными геодинамическими явлениями. Оно происходит в результате функционирования рудообразующих систем, специфика которых заключается в сочетании глубинных очагов генерации горячих водных флюидов, путей их миграции и объемов земной коры, в которых происходит рудообразование. Трудности в реконструкции подрудных составляющих рудообразующих систем, необходимой для понимания сущности процессов, углубления теории и разработки, совершенствования эффективных прогнозно-поисковых критериев оруденения в условиях перехода к поискам не выходящих на дневную поверхность месторождений, обусловлены рядом причин. К числу важнейших относятся пространственная разобщенность месторождений, источников растворителя – воды и рудного вещества, которыми могут быть мантийные или коровые магматические расплавы или очаги ультраметаморфизма нагревания – дегидратации и горные породы на путях движения флюидов в разных сочетаниях, а также весьма ограниченная доступность подрудного пространства.

О том, что происходит на гипотетических глубинах подрудного пространства во время функционирования рудообразующих систем, можно судить по следам, которые оставляет природа в гидротермальных месторождениях. Следы заключены в магматических горных породах, в частности, образованных в результате кристаллизации поступавших в формирующиеся месторождения в чередовании с металлоносными флюидами силикатных расплавов, в ассоциациях поступавших с металлоносными флюидами химических элементов, определяющих петрохимическую специфику силикатных расплавов определенных составов, в соотношениях изотопов некоторых изотопов заключенных в минералах руд и околорудно измененных пород химических элементов, в составах минералов магматических и ассоциированных с ними метасоматических пород, руд и др. Изучение этих следов в сочетании с теоретическими построениями и экспериментом не всегда завершается одновариантной корректной интерпретацией получаемых данных. Отсюда следует дефицит достоверных фактов и, к сожалению, нередкая гипотетичность выводов.

К числу месторождений, геологическая обусловленность образования которых составляет предмет дискуссии в течение двадцатого столетия и до сего времени, относятся гидротермальные месторождения золота. В середине прошлого столетия к двум конкурировавшим до того гранитогенной и базальтогенной гипотезам добавлены еще две – метаморфогенная гидротермальная и полигенная в приложении к месторождениям, образованным в толщах углеродистых (черных) терригенных, карбонатно-терригенных сланцев.

Каждая гипотеза из четырех существует в автономных условиях при отсутствии, насколько можно судить по публикациям, попыток понять причины такого многообразия представлений о геологической обусловленности образования одних и тех же, как правило, крупных и уникальных месторождений, что исключает конвергенцию рудообразования как возможную причину этого. Между тем, причины могут быть поняты при условии сравнительного анализа фактологической базы и аргументации каждой гипотезы, в противном случае дискуссия обещает быть бесконечной. Чтобы этого не произошло и для приближения, по возможности, времени, когда сосуществующие гипотезы естественным путем внесут свой вклад и трансформируются в опирающуюся на совокупность достоверных фактов строго аргументированную теорию в сопровождении комплекса работающих прогнозно-поисковых критериев оруденения, в серии публикаций автора обсуждается обоснованность каждой гипотезы [9 – 14].

Вне сферы анализа остался один из ранних вариантов метаморфогенной гипотезы, предполагавший образование месторождений золота в процессах регионального зонального метаморфизма в результате функционирования металлоносных флюидов метаморфогенного происхождения. Для доказательства использовались данные о содержаниях, распределениях золота в метаморфических породах смежных, сменяющих одна другую в пространстве фаций ареалов регионального метаморфизма как основание для суждения о возможной межзональной миграции золота и концентрировании его в конкретных метаморфических зонах. Объектами исследований служили, в частности, метаморфические комплексы, слагающие Ангаро-Канский (Енисейский кряж) и Муйский (Северное Забайкалье) выступы архейского фундамента Сибирской платформы, позднпротерозойские и позднпалеозойские очагово-купольные ультраметаморфические комплексы южного горно-складчатого ее обрамления. Результаты многолетних исследований приведены и обсуждаются в докладе.

По данным Ю.П. Бовина, А.М. Сазонова [3], средние содержания золота в гранулитах, гиперстеновых гнейсах, гранулитогнейсах кузеевской толщи архейской канской серии Ангаро-Канского выступа Енисейского кряжа составляют (мг/т) 12,2...14,6, в этих же породах, диафорированных в амфиболитовой фации, – 3,32, в эпидот-амфиболитовой фации, – 9,7, в зеленосланцевой фации 8,0. Гранулиты, кристаллосланцы, гнейсы

атамановской толщи канской серии содержат (мг/т) золота значительно меньше, – в среднем 4,3, диафторированные на уровне амфиболитовой фации, – 3,7, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций, – 4,4. В мигматитах и гнейсах енисейской серии золото содержится в среднем на уровнях, соответственно, 3,5 и 6,9 мг/т. Существенное возрастание содержания золота фиксируется в перечисленных породах кузеевской толщи, подвергшихся эпигенетическим гидротермальным преобразованиям, – до 31,5 мг/т.

В Муйском выступе архейского фундамента участвующие в его составе ультраметаморфические породы, по данным автора, содержат золота (мг/т, средние геометрические, в скобках средние арифметические и число проб): алмадин-диопсид-двуполевошпатовые гнейсы – 0,7 (1,1 – 29), алмадин-двуслюдяные гнейсы – 0,5 (0,6 – 30), кальцифиры – 0,9 (1,2 – 25), граниты мигматитовой выплавки – 0,6 (0,7 – 28).

В высоко- и низкотемпературных минеральных зонах ареала позднепротерозойских зрелых очагово-купольных сооружений Центрального антиклинория Енисейского кряжа средние арифметические содержания золота (мг/т) сопоставимы и составляют в породах амфиболитовой фации 7,5 (30 проб), эпидот-амфиболитовой фации 9,4 (24 пробы), биотит-хлоритовой и хлорит-серицитовая субфаций зеленосланцевой фации 9,3 (31 проба) и 9,8 (88 проб) [15].

В противоположность этим данным А.М. Сазонов отметил снижение содержания золота в кристаллических сланцах очагово-купольных сооружений Центрального антиклинория от 2,3 мг/т в амфиболитовой фации (8 проб) до 0,7 мг/т в эпидот-амфиболитовой (46 проб) [18].

В центральной золоторудной полосе Енисейского кряжа А.Д. Ножкин и В.А. Гавриленко [16] оценили средние содержания золота в гранат- и биотит-содержащих кристаллических сланцах на уровне 0,9 мг/т (45 проб), а в протолите для них – филлитах 1,7 мг/т (40 проб), кремнисто-глинистых сланцах 1,2 мг/т (71 проба).

Кедровская позднепалеозойская (335 млн л) зрелая очагово-купольная структура в восточном обрамлении Муйского выступа архейского фундамента образована в результате ультраметаморфизма с частичным плавлением черных сланцев позднерифейской кедровской свиты. Черные сланцы в позднем рифее подверглись региональному метаморфизму на уровне мусковит-биотитового парагенезиса, соответствующего наиболее низкотемпературной фации регионального метаморфизма нагревания. Между куполом и вмещающими его черными сланцами существуют постепенные переходы от кварцевых диоритов ядра в мигматиты, далее в алмадин-двуслюдяные плагиогнейсы, огнейсованные черные сланцы и, наконец, в полевошпат-кварцевые бескарбонатные черные песчано-алевро-сланцы. В отличие от ультраметаморфитов архейского фундамента здесь достоверно диагностируется протолит очагового купола. Среднее геометрическое содержание золота (в скобках среднее арифметическое и число проб), по данным автора, составляет (мг/т) в кварцевых диоритах 0,7 (0,8 – 25), в мигматитах и гнейсах 0,7 (0,7 – 28), в протолите ультраметаморфитов – черных сланцах 1,2 (1,6 – 37).

Согласно результатам В.А. Бурыка [4], средние содержания золота возрастают от высокотемпературной дистен-ставролитовой зоны очагово-купольного обрамления Бодайбинского прогиба в Ленском районе к вмещающей месторождения золота низкотемпературной зеленосланцевой зоне черносланцевого выполнения прогиба: в углеродистых алевролитах – от 1,9 до 6,9, в углеродистых алевросланцах от 1,4 до 2,5, в углеродистых песчаниках от 2,5 до 3,2 мг/т.

Приведенные данные демонстрируют чрезвычайную пестроту в результатах проверки на эмпирических материалах идеи шестидесятых годов прошлого столетия о миграции золота в условиях регионального зонального метаморфизма из высокотемпературных зон его ареалов в низкотемпературную зеленосланцевую зону с образованием в последней промышленных месторождений. Эту идею поддержал один из ее авторов, который однако подчеркнул, что извлеченного из пород золота недостаточно для накопления металла в промышленных масштабах и требуются дополнительные источники [4]. В качестве таковых он предложил считать мантийные магматические очаги. Выводы о выносе золота из высокотемпературных зон в низкотемпературные при региональном зональном метаморфизме в ряде других регионов и образовании промышленных месторождений за счет породных источников металла содержатся в работах [5 – 8, 20, 25, 26, 28].

Авторские данные близки к результатам А.Д. Ножкина и В.А. Гавриленко, – содержания золота в протолитах несколько выше, чем в образованных в них очагово-купольных ультраметаморфических породах, что, очевидно, есть следствие удаления металла из высокотемпературных зон, но не в низкотемпературные черные сланцы с мусковит-биотитовым метаморфическим парагенезисом, следовательно, не подвергшиеся зеленосланцевым преобразованиям. Различия в содержаниях столь незначительны (0,3...0,8 мг/т), что связывать рудообразование с ультраметаморфизмом в подобных случаях было бы не корректно.

Противоположные выводы сформулировали А.М. Сазонов, Ю.П. Бовин и А.М. Сазонов, – снижение степени метаморфизма сопровождается снижением содержания в породах золота. В этом случае говорить о рудообразующей (золотопродуцирующей) функции высокотемпературного метаморфизма не приходится.

Наконец, как утверждают Л.В. Ли, О.И. Шохина, миграция золота в условиях регионального зонального метаморфизма из высокотемпературных зон в низкотемпературные или в обратном направлении не происходит. Золото, подобно ртути [17], остается инертным. Инертность металла на материале ряда других регионов подтверждается в [2, 19].

Результаты оценки золотоносности метаморфических комплексов и золотопродуцирующей, тем более рудопродуцирующей, способности регионального зонального метаморфизма, как это следует из приведенного обзора, использовать для генетических построений невозможно. Проблему, вероятно, можно было бы решить при условии детальных петролого-геохимических исследований по единой методике и руководствуясь методологически выверенной целью геохимии, призванной, по определению ее основателей В.И. Вернадского и

А.Е. Ферсмана, реконструировать геологическую историю горных пород и химических элементов в теле планеты.

В практике исследований этого не произошло. Произошло другое, – в одних случаях дана аддитивная оценка золотоносности метаморфических фаций, каждая из которых сложена разными по составу протолитов и новообразованных минеральных комплексов метаморфическими или метаморфизованными породами, с разными содержаниями золота и разными количественными в каждой фации соотношениями наборов видов и разновидностей горных пород. В итоге получилось то, что принято называть средней температурой по больнице. Сравнить золотоносность метаморфических фаций без учета перечисленных данных не корректно. В равной степени это замечание распространяется на совокупности метаморфических пород типа гранулитов, гнейсов, кристаллических сланцев и других. Каждая из них включает в разных количественных соотношениях многие виды и разновидности пород, образованных за счет разных протолитов, сложенных разными минеральными комплексами, унаследовавших от протолитов разные содержания золота и т. д. и т. п. Ожидать от сравнения, одного из важнейших способов познания, корректных результатов было бы неоправдано.

Вероятно, понимание всего этого привело к потере после восьмидесятых годов интереса к дальнейшей разработке обсуждаемого варианта метаморфогенной гипотезы рудообразования.

Подобная противоречивая ситуация сложилась до сего времени в оценке золотоносности черносланцевых комплексов и роли метаморфизма в рудообразовании. Скажем, оценки золотоносности черных сланцев в объеме одних и тех же свит в работах разных авторов варьируют от 1 мг/т до граммов в тонне породы [1, 12, 21 – 24, 27]. Подробный обзор по этой проблеме и далекие от оптимизма выводы приведены в [12].

В кристаллическом, в том числе в ультраметаморфическом, и черносланцевом субстрате южного горно-складчатого обрамления Сибирской платформы найдены эмпирические факты, взаимно дополняющие один другой и образующие согласованный ансамбль, – основу доказательной базы альтернативной концепции образования гидротермальных мезотермальных месторождений золота [9]. В обосновании концепции ключевое значение имеют следующие факты.

Контроль месторождений глубинными и опережающими их разломами.

Образование месторождений на активных континентальных окраинах в режиме коллизии и во внутриконтинентальных рифтовых структурах.

Пространственно-возрастная близость месторождений к ранним, образованным до начала рудообразования гранитоидным массивам, зрелым очагово-купольным структурам и/или поясам даек кислых пород.

Функционирование рудообразующих систем в условиях активного послегранитного, но близкого к гранитам по возрасту умеренно щелочного базальтоидного магматизма, выраженное в чередовании внедрения расплавов и металлоносных флюидов и в образовании послегранитных дорудных, внутрирудных и послерудных даек умеренно щелочных долеритов.

Стабильный минералого-химический состав послегранитных прерудных даек долеритов, исключающий смешение внедряющихся базальтовых расплавов с остаточными гранитными, очевидно, по причине полной кристаллизации последних, свидетельствующий о невозможности генерации ранних порций металлоносных флюидов в уже не существующих гранитных расплавах и, следовательно, об отсутствии генетической связи месторождений с гранитами.

Флюидопроводящая в горячем состоянии функция внутрирудных даек долеритов и преобразование последних под воздействием поднимающихся по ним металлоносных флюидов в биотит-роговообманковые метасоматиты с контрастными аномалиями ассоциации фемофильных элементов Р, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn, K и золота.

Внедрение во внутрирудные дайки металлоносных флюидов вслед за базальтовыми расплавами через промежутки времени, в течение которых расплавы раскристаллизовались, но уже образованные дайки еще не успевали остыть, оставались среди холодных пород горячими, в противном случае они не могли бы выполнять флюидопроводящую функцию.

Наследование околорудными березитами калиево-сернисто-углекислотного профиля внутридайкового метасоматизма и контрастных аномалий фемофильных элементов, определяющих петрохимическое своеобразие базальтовых расплавов.

Вещественно-генетическая однородность оруденения в кристаллическом и черносланцевом субстрате как свидетельство образования его в одинаковых термодинамических и физико-химических режимах рудообразующих систем.

Изотопный состав углерода карбонатов метасоматитов и руд ($\delta^{13}\text{C} = -5 \dots -9 \text{ ‰}$), отвечающий метеоритному стандарту.

Согласно концепции, гидротермальные месторождения золота во всех средах принадлежат к категории магмогенных мезотермальных и образованы на позднем базальтоидном этапе становления повторяющихся во времени и пространстве антидромных гранит-диорит-долеритовых флюидно-рудно-магматических комплексов, отвечающих формационному типу.

Литература

1. Арифуров Ч.Х. Золотоносность черносланцевых толщ и обстановки формирования рудных тел // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 10 – 21.
2. Блюман Б.А. Золоторудная «черносланцевая» формация: модель взаимоотношений регионального метаморфизма, гранито- и рудообразования // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1988. – С. 135 – 141.
3. Бовин Ю.П., Сазонов А.М. Особенности геохимии золота при полиметаморфизме архейского гранулитового комплекса // Доклады АН СССР. – 1988. – Т. 299. – № 2. – С. 445 – 448.
4. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
5. Валасис А.Г., Коваль В.Б. Термальные купола, зональный метаморфизм и рудогенез // Доклады АН УССР. Серия Б. – 1987. – № 7. – С. 11 – 15.
6. Давыдченко А.Г. Миграция вещества в зонах метаморфизма. – М.: Недра, 1983. – 123 с.
7. Забияка И.Д., Забияка А.И., Верниковский В.А. Роль регионального метаморфизма в концентрации золота в докембрийских породах Таймыра // Доклады АН СССР. – 1983. – Т. 269. – № 6. – С. 1430 – 1433.
8. Кориковский С.П. Метаморфические рудообразующие системы // Эндогенные источники рудного вещества. – М.: Наука, 1987. – С. 80 – 89.
9. 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 Международ. конф., г. Томск, 5 – 8 окт. 2010 г. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – С. 241 – 256.
10. Кучеренко И.В. Проблемы образования гидротермальных месторождений золота. Ч. 1. Магматогенные геолого-генетические концепции // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 1. – С. 11 – 18.
11. Кучеренко И.В. Прогнозно-поисковый комплекс для мезотермальных месторождений золота. Ч. 1. Тектонический и геодинамический критерии // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 1. – С. 19 – 27.
12. Кучеренко И.В. Проблемы образования гидротермальных месторождений золота. Ч. 2. Метаморфогенная и полигенная геолого-генетические концепции // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 105 – 113.
13. Кучеренко И.В. Прогнозно-поисковый комплекс для мезотермальных месторождений золота. Ч. 2. Петрологический критерий // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 114 – 122.
14. Кучеренко И.В. Прогнозно-поисковый комплекс для мезотермальных месторождений золота. Ч. 3. Петрохимический и геохимический критерии // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 39 – 47.
15. Ли Л.В., Шохина О.И. Поведение золота при процессах прогрессивного метаморфизма пород докембрия Енисейского кряжа // Геохимия. – 1974. – № 3. – С. 402 – 410.
16. Ножкин А.Д., Гавриленко В.А. Золото и радиоактивные элементы в полифациальных отложениях верхнего докембрия. – Новосибирск: Наука, 1976. – 198 с.
17. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М.: Наука, 1986. – 232 с.
18. Сазонов А.М. Минералого-геохимические признаки метаморфогенного генезиса золотого оруденения Средней Сибири // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 47 – 53.
19. Хорева Б.А. Крупномасштабное картирование метаморфогенных термальных антиклиналей (при поисках золоторудных месторождений) // Геология и геофизика. – 1987. – № 11. – С. 67 – 73.
20. Groves D.J., Golding S.D. Archaean carbon reservoirs and their relevance to the fluid source for gold deposits // Nature. – 1988. – V. 331. – № 6153. – P. 254 – 257.
21. Groves D.J., Phillips O.N., Susan E.H. The Nature, genesis and regional controls of gold mineralization in Archaean greenstone belts of the Western Australian shield: a brief review // Transactions of the Geological Society of South Africa. – 1985. – V. 88. – № 1. – P. 135 – 148.
22. Haack U., Heinrichs H., Boner M. Loss of metals from pelites during regional metamorphism // Contribution Mineral and Petroleum. – 1984. – V. 85. – № 2. – P. 115 – 132.
23. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia / Large Ross R., Maslennikov Valery V., Robert Francois, Danyushevsky Leonid V., Chang Zhaoshan // Economic Geology. – 2007. – V. 102. – № 7. – P. 1233 – 1267.
24. Meffre S., Large Ross R., Scott R. Age and pyrite Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log sediment-hosted gold deposit, Russia // Geochemical et Cosmochemical Acta. – 2008. – V. 72. – P. 2377 – 2391.
25. Meyer M., Saager R. The gold content of some Archaean rocks and their possible relationship to epigenetic gold-quartz vein deposits // Mineral Deposita. – 1985. – V. 20. – № 4. – P. 284 – 289.
26. Phillips G.N., Groves D.J., Ho S.N. A metamorphic-replacement model for genesis of archaean gold deposits // Proc. Conference Metallogeny Precambrian, Tabor, May 1985 year. – Prague, 1986. – P. 125 – 132.
27. Metallogeny of the gold deposits of China / Shao Jun, Hui De-fend, Kong Xiang-min, Shou Nai-wu. // Geology and Resources. – 2004. – V. 13. – №4. – P. 246 – 250.
28. Springer J.S. Carbon in Archaean rocks of the Abitibi (Ontario – Quebec) and its relation to gold distribution // Canadian Journal of Earth Sciences. – 1985. – V. 22 – № 12. – P. 1945 – 1951.