

Геология и полезные ископаемые

УДК 553.411.071.061

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА. Ч. 2. МЕТАМОРФОГЕННАЯ И ПОЛИГЕННАЯ ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет
E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

Приведены опубликованные в течение пятидесяти лет аналитические данные о содержаниях золота в черных сланцах золотосодержащих районов, оценки которых в одних и тех же толщах в разные периоды изменялись от граммов в тонне породы до субкларковых. Разногласия обусловлены использованием не адекватных цели исследования методов. Предложены альтернативные существующим методология и следующие из нее методы петролого-геохимических исследований, реализация которых обеспечила реконструкцию геологической истории горных пород и химических элементов в них. Согласно полученным результатам, дорудные содержания золота в черных сланцах раннепротерозойской михайловской, позднерифейских кедровской, водораздельной, мухунной, хомолхинской, имняхской, аунакитской свит юго-восточного горно-складчатого обрамления Сибирского кратона отвечают субкларковым значениям (0,5...3,0 мг/т), а повышенные и высокие его содержания в околорудном пространстве золоторудных полей, включая Сухой Лог, имеют рудогенное происхождение, то есть представляют следствие рудообразования, а не его причину. Петролого-геохимические данные доказывают вещественно-генетическую однородность околорудных метасоматических, геохимических ореолов и руд золотых месторождений, образованных в кристаллическом субстрате и черносланцевых толщах, и согласуются с приведенными в первой части статьи доказательствами образования оруденения в том и другом субстрате на позднем базальтоидном этапе становления антидромных гранит-диорит-долеритовых флюидно-магматических комплексов.

Ключевые слова:

Гидротермальные месторождения золота, метаморфогенно-гидротермальная, полигенная концепции рудообразования, содержания золота в черных сланцах, петролого-геохимические исследования, околорудные метасоматические, геохимические ореолы.

Key words:

Hydrothermal gold deposits, metamorphic-hydrothermal, poligenous ore-formation conceptions, gold contents in black shales, petrologic-geochemic research, near-ore metasomatic, geochemic haloes.

Введение

Возвращение в конце 1960-х гг. старой лито-секретионной концепции в обновлённом варианте под названием метаморфогенно-гидротермальной в приложении к мощным толщам углеродистых сланцев в осадочных бассейнах, предполагающей породные источники золота, составило альтернативу традиционным магматогенно-гидротермальным, продолжающим сохранять популярность, особенно в гранитогенном варианте. Возвращение сопровождало повышение интереса промышленности к крупнообъёмным, но бедным по содержанию золота месторождениям и произошло на волне сформированных в конце шестидесятых — начале семидесятых годов представлений о высокой дорудной золотосодержимости черных сланцев.

Впоследствии, по мере внедрения в практику геохимических исследований высокочувствительной аналитической аппаратуры и новых методов анализа содержаний золота, а главное, вследствие признания некоторыми исследователями повышенных содержаний золота в рудовмещающих породах и толщах эпигенетическими синрудными, обусловленными рудообразованием, оценки дорудной золотосодержимости сланцев в некоторых публикациях существенно снизились до кларковых значений, соразмерных с таковыми кристаллических пород. Однако «маховик популярности» метаморфогенно-гидротермальной концепции, раз запущенный, продолжает вращаться с переменной угловой скоростью, снизившейся в восьмидесятых годах, а в последнее десятилетие заметно увеличив-

шейся. При этом представление о высокой или повышенной дорудной золотоносности углеродистых сланцев как необходимой предпосылке рудообразования продолжает сохранять статус главного аргумента концепции.

Вместе с тем вопрос о происхождении высокой золотоносности черных сланцев и после полувековых исследований остается открытым, что доказывает многовариантностью известных решений в приложении, скажем, к одной и той же толще. Как реакция на возникшую в последние годы потребность понять и объяснить, возможно, специфические условия образования, а на этой основе разработать критерии прогнозирования особо крупных месторождений, так называемых месторождений-гигантов, известных в районах сланцевого типа, предложена полигенная концепция рудообразования, опирающаяся на идею «ступенчатого» накопления золота.

Чтобы правильно понять причины и существо упомянутых разногласий, полезно бросить ретроспективный взгляд в далекое и недавнее прошлое и посмотреть, как этот вопрос решался преимущественно в крупнейших золотоносных районах южной Сибири в течение последнего пятидесятилетия.

В статье рассмотрено содержание обеих концепций, дана авторская оценка приведенным в их обоснование аргументам и сформулированы общие, следующие из анализа и обсуждения всех материалов, включая приведенные в [1], выводы.

Метаморфогенно-гидротермальная концепция

Согласно ранним представлениям [2], в большинстве разновидностей позднерифейских сланцев и песчаников Ленского района содержание золота составляет тысячные и сотые доли г/т при максимальной концентрации в углеродистых филлитах, достигающей десятых долей г/т и 1...2 г/т. При этом подчеркивается, что рассеянная первично-осадочная золотоносность вмещающих пород определяет золотоносность кварцевых жил и сульфидного прожилково-вкрапленного оруденения: содержание золота в рудных телах возрастает по мере возрастания содержания золота во вмещающих породах. По данным А.Е. Гапона с соавторами [3], в пределах рудных полей песчаники догалдынской свиты, например, содержат золота 0,01...6,0, алевролиты – 0,01...10, сланцы – 0,01...30 г/т.

В.Г. Петровым [4] высказывается мнение о том, что золоторудные месторождения Енисейского района приурочены к изначально обогащенным кластогенным и хемогенным золотом толщам и пачкам терригенных пород рифейской сухопитской серии. По его оценкам, среднее содержание золота в сланцах нижней части рудовмещающей удерейской свиты мощностью не менее 150...200 м, например, составляет 200...300 мг/т, в отдельных пластах на порядок превышает эту величину, а в целом в рудовмещающих толщах находится на уровне десятков–сотен мг/т. Первично осадочное проис-

хождение повышенных концентраций золота в сланцах подтверждается, по В.Г. Петрову, в частности, литолого-стратиграфическим контролем оруденения, что впоследствии было опровергнуто.

В противоположность приведенным данным В.Н. Шаров с соавторами [5], полагая основным источником рудогенных элементов в рудах и метасоматитах Ленского района также толщу протерозоя, определяют содержание золота в песчаниках догалдынской, кварц-углистых алевролитах с редкой вкрапленностью магнезиально-железистых карбонатов валюхтинской и известковистых песчаниках имняхской свит, метаморфизованных в хлорит-серицитовую субфации регионального метаморфизма, на уровне соответственно 1,9, 1,2, 0,7 мг/т. Несколько повышенные концентрации – 9,5, 15,0, 25,0 мг/т показаны для этих же пород, но претерпевших локальный дислокационно-гидротермальный метаморфизм.

По мнению В.В. Поликарпочкина с соавторами [6], при среднем содержании золота от 0,7 до 4,7 мг/т в большинстве позднерифейских свит Ленского района вдали от известных месторождений и рудопроявлений, концентрация металла в черносланцевых горизонтах рудовмещающей хомолхинской и догалдынской свит не менее чем в 1,5–2 раза выше, чем в светлоокрашенных разностях, и достигает сотых долей г/т. Однако указывается, что при содержании золота в породах этих свит выше десятых долей г/т обнаруживается наложенная гидротермальная минерализация.

По данным В.А. Бурыка [7], содержание золота изменяется от 1,4 мг/т в алеврофиллитах до 2,5 и 3,2 мг/т в алевросланцах, 4,3 мг/т в кварцитовидных песчаниках и до 6,9 мг/т в алевролитах, слагающих хомолхинскую свиту, подвергшихся региональному метаморфизму зеленосланцевой фации. В породах с осадочно-диагенетическим (? – И.К.) пиритом содержание золота варьирует в пределах 1,4...8,0 мг/т, обычно 2,5...5,0 мг/т, при среднем содержании золота в пирите 66,0 мг/т [8]. В ореолах регионального метаморфизма средние концентрации золота (мг/т) последовательно нарастают от высокотемпературной дистен-ставролитовой зоны до низкотемпературной зеленосланцевой: в филлитовидных алевролитах от 1,75 до 3,2, в алеврофиллитах – от 2,5 до 4,3, в алевролитах – от 1,9 до 6,9, в алевросланцах – от 1,4 до 2,5, в песчаниках – от 2,5 до 3,2. В околорудных ореолах золото привносится в интенсивно измененные (? – И.К.) алевролиты и песчаники на всех изученных горизонтах месторождения Сухой Лог [8]. Подчеркивается сильная положительная корреляционная связь золота с мышьяком.

Для околорудных геохимических ореолов в сланцевых толщах Ленского района характерны околокарковые или на полпорядка–порядок выше кларка содержания сопровождающих золото в рудах элементов – серебра, мышьяка, свинца, цинка, меди, никеля, кобальта и других [9]. В минерализованных зонах среди известковистых сланцев

обычно повышены содержания свинца, цинка, бария, стронция, серебра, ртути, среди углеродисто-кремнистых пород – серебра, мышьяка, сурьмы, вольфрама, молибдена, фосфора, титана, среди черносланцевых алевро-филлитов – серебра, мышьяка, железа, титана, вольфрама, марганца. Наиболее устойчиво фиксируются золото, серебро, мышьяк. Пирит минерализованных зон содержит (в среднем, г/т) никель (500), кобальт (250), мышьяк (1400), золото (5).

Согласно данным А.Д. Ножкина и В.А. Гавриленко [10], в пределах центральной золоторудной полосы Енисейского района кремнисто-глинистые сланцы содержат золота в среднем 1,23 мг/т (71 проба), филлиты – 1,66 мг/т (40 проб), гранатили биотит-содержащие кристаллические сланцы – 0,90 мг/т (45 проб), филлиты и филлитизированные сланцы в контурах рудных полей – 7,0 мг/т (30 проб), гидротермально изменённые филлиты в жильных (рудных) зонах – 39,0 мг/т (38 проб).

В.Б. Болтыров с соавторами [11] подчеркивают, что черным сланцам рудовмещающей сухопитской серии (82 пробы) свойствен субкларковый (2,9 мг/т) уровень средних содержаний золота при отсутствии отрицательных аномалий рудогенных элементов в пределах всего протерозойского субстрата и при высоких средних концентрациях золота (44,2 мг/т, 68 проб) и других рудогенных элементов в сланцах рудокализирующих структур. Накопление золота от субкларковых уровней (первые мг/т, 1,7, 3,0 мг/т) вне околорудных ореолов золотых и золото-сурьмяных месторождений Енисейского района до десятков мг/т во внешних и сотен мг/т во внутренних зонах ореолов констатирует В.А. Злобин [12]. По его данным, содержание серебра в рудовмещающих толщах в среднем составляет 67,0 мг/т (Советское месторождение), 82 мг/т (месторождение Эльдорадо), 270 мг/т (Удережское месторождение), концентрации свинца – 29, 50, 10 г/т, цинка – 67, 245, 61 г/т, меди – 27, 38, 20 г/т. Существует сильная положительная корреляционная связь золота с мышьяком. Сходные данные для месторождения Эльдорадо приводит А.Е. Верниковская [13]. Концентрации золота, серебра, мышьяка, свинца, цинка, меди от кларковых значений на периферии геохимического поля месторождения нарастают в направлении к рудным зонам, вблизи и внутри которых достигают максимальных значений. Наиболее контрастны аномалии золота, серебра и мышьяка.

Согласно Д.И. Горжевскому с соавторами [14], концентрации золота в отложениях континентальных фаций Енисейского района укладываются в интервал 4,3...5,4 мг/т, прибрежно-морских фаций – 1,9...2,1 мг/т, морских фаций – 1,2...1,6 мг/т.

Как следует из приведённого обзора, к концу восьмидесятих годов занятые исследованием проблемы специалисты, даже разработчики метаморфогенно-гидротермальной гипотезы (В.А. Буряк и др.) достаточно скромно оценивали уровень золотоносности черносланцевых толщ, что, вероятно,

отражало понимание и признание того, что высокие содержания золота – это синрудные ореольные концентрации, а дорудные содержания недалеко от кларковых для большинства осадочных пород, включая глинистые (1 мг/т). Выполненные В.А. Буряком [15] с учётом этого расчёты баланса золота в сланцах и рудах убедили его в том, что содержащегося в породах металла недостаточно для создания реально существующих рудных тел и требуется дополнительный источник. В качестве такового он предложил мантию. Конкурентоспособность концепции при этом снижалась, и она начала терять популярность. Вероятно, для поддержания гипотезы в конкурентоспособном состоянии был найден выход – объяснение низких концентраций золота в сланцах. В.А. Буряком было предложено считать их «отработанными», сохранившимися в породах после экстракции сверхкларковых масс золота из пород и переотложения его в рудах. Поскольку проверить это невозможно, идея не нашла поддержки.

Попытка экспериментально доказать вынос золота из пород, содержащих его на кларковом уровне, увенчалась успехом – в условиях эксперимента до 80 % от исходной массы металла удалялось из вулканитов [16]. Последовал вывод, согласно которому породы, содержащие золото на кларковом уровне, могут являться источником рудного вещества для гидротермальных месторождений. Осталось, однако, неясным, в какой степени условия и результаты эксперимента отвечают реальным природным условиям и приложимы к реальным природным процессам.

Идея не была подхвачена, и большинство сторонников метаморфогенно-гидротермальной концепции, насколько можно судить по отечественным и зарубежным публикациям, в течение последнего десятилетия вернулись к ранним представлениям о повышенных (высоких) надкларковых дорудных содержаниях золота в сланцевых толщах как необходимой предпосылке рудообразования.

Так, по версии Б.Н. Абрамова и Н.А. Чернышовой [17], в безрудных черносланцевых отложениях протерозойских кедровской, вулканитах келянской свит Муйской зоны Северного Забайкалья содержания золота составляют десятые–сотые доли г/т, в сульфидизированных сланцах – десятые доли г/т.

На основе изучения структурно-текстурных особенностей руд Сухого Лога, соотношений эпигенетических минеральных ассоциаций с первичными осадками реконструирован рудообразующий процесс – оруденение образовалось в углеродсодержащей толще с первичной повышенной концентрацией цветных и благородных металлов в результате функционирования метаморфических, метасоматических, гидротермальных процессов [18]. По мнению М.П. Лобанова с соавторами [19], оруденение в рудоносных «углистых» сланцах Ленского района образовано в результате тектоно-химического преобразования геохимически благоприятных отложений, которые служили источни-

ками рудного вещества. Согласно мнению коллектива авторов [20], изотопный состав свинца, сосредоточенного в пирите и галените руд Сухого Лога, соотношения его изотопов, наличие тренда смешения свинца подтверждают ведущую роль коровых источников золота и других металлов – черносланцевых терригенно-карбонатных пород позднерифейского возраста. Остались, однако, нераскрытыми связи свинца, золота и других металлов, послужившие основанием для приведённого вывода. Рудогенерирующая роль чёрных сланцев в процессе образования руд Сухого Лога подчёркивается в работе [21].

На концепцию экстракции золота из вмещающих комплексов осадочных и вулканокластических пород с последующей транспортировкой его гетерогенными флюидами в блоки рудообразования опирается обобщённая модель формирования золоторудных месторождений Китая [22].

По мнению А.А. Сидорова [23], источником золота и сопутствующих металлов, сосредоточенных в золотых месторождениях среди черносланцевых толщ Северо-Востока России, служила стратиформная до-, синаккреционная золотосульфидная минерализация в сланцах вулканогенно-осадочного, гидротермально-осадочного происхождения, переработанная метаморфическими растворами. Подобного представления придерживается С.Г. Парада [24], который крупнообъёмные участки сульфидной вкрапленной и кварцево-жильно-прожилковой минерализации в палеозойских вулканогенных и терригенных толщах Амуро-Охотской складчатой области считает образованными на этапах седиментации, диагенеза, литогенеза. Минерализация образована в том числе в результате элизионно-катагенетических, эксгальционно-осадочных процессов, она обеспечила легко ремобилизуемым ресурсом золота последующие эндогенные рудообразующие процессы. Автор полагает, в частности, что металлы (золото) выносятся из высокотемпературных зон очагово-купольного ультраметаморфизма в периферийные зоны слабого метаморфизма, в которых сосредоточены наиболее крупные коренные месторождения золота, такие как Токурское и Маломырское.

Метаморфогенно-гидротермальная концепция, опирающаяся на представление о породных источниках золота, предполагает сопряжённость в пространстве областей выноса и областей привноса – соответственно отрицательных и положительных геохимических аномалий. Если принять как очевидное движение растворов снизу вверх в направлении понижения гидростатического давления, следует признать более низкое гипсометрическое положение областей выноса, образование которых под рудными полями или на каких-то значительных глубинах обуславливает их недоступность для непосредственного изучения. Не случайно существует жёсткий дефицит, фактически отсутствие, геохимической информации, характеризующей подрудные области выноса металлов.

Вероятно, в работах некоторых авторов мы имеем дело с сублитеральным расположением областей выноса и привноса металлов [25]. Это следует из той уверенности, с какой авторы высказывают свои выводы и предложения. Существо их сводится к следующему. Границы отрицательных геохимических ореолов не совпадают с геологическими границами и геологическими структурами. Степень истощения (выноса) элементов в отрицательных ореолах по отношению к местному кларку цветных металлов обычно (? – И.К.) составляет 20...50 % и в ряде случаев может достигать 70...90 %, особенно для золота. Внешняя граница отрицательного ореола с фоновой областью обычно (? – И.К.) резкая. Запасы металла в рудах пропорциональны размерам отрицательных ореолов, а количество металла в рудах и положительных ореолах обычно (? – И.К.) сопоставимо с величиной дефицита металла в отрицательных ореолах. Из этого следует, что главный критерий оценки перспективности площадей основывается на зависимости между размерами областей выноса и массой вынесенных рудообразующих элементов и количеством металлов в месторождениях.

При оценке справедливости приведённых выводов возникают вопросы, на которые нет ответов. Каково происхождение растворов, их физико-химические и термодинамические параметры и причины перемещения в сублитеральном направлении? В силу каких причин возникают в этом направлении градиенты давлений, обеспечивающие фильтрацию (? – И.К.) растворов по поровому пространству кристаллических пород, обладающих, как известно, малой общей, открытой, эффективной пористостью? Очевидно, приоритетная сфера деятельности в данном случае растворов – поровое пространство пород, а не разломы, зоны повышенной проницаемости. При всём многообразии литологических, петрографических видов и разновидностей пород как определить исходные содержания металлов в уже образованных областях выноса, если часть их не выходит за пределы этих областей? Как определить объёмы областей выноса и областей привноса при отсутствии третьего (по вертикали) измерения, а также тел горных пород с разными местными кларками?

Однако идея подхвачена. Г.Б. Ганжа, Л.М. Ганжа [26] назвали области выноса-привноса соответственно областями выжимания-нагнетания, последней – сопряжённой с зоной поперечных дислокаций в складчатой пермской черносланцевой толще в Центральной Колыме. Возникает дополнительный вопрос: какие силы выжимают поровый раствор при существовании жёсткого (твёрдого) каркаса? На приведённом авторами графике распределения золота в области выжимания и нагнетания в первой металл вообще не показан (не обнаружен) при заявленной чувствительности пробирно-спектрального метода анализа 1 мг/т.

Без содержательных ответов на поставленные вопросы принять предложения и выводы упомяну-

тых авторов невозможно, равно как невозможно поверить в то, что заметный (более 40 %) вынос рудных и некоторых литофильных элементов без видимых изменений породообразующих минералов происходит при электрохимическом процессе [27]. Чтобы извлечь химический элемент из кристаллической решётки минерала-хозяина или из включения в нём, его надо разложить, растворить полностью или частично. То, что автор получил результат в эксперименте, не означает, что он возможен в природе. Поэтому вывод, отражающий физическую возможность формирования промышленных месторождений под действием естественных электрических полей, возникающих при фильтрации гидротермальных растворов, представляется малоубедительным.

Идею о существовании динамических взаимосвязанных сочетаний областей извлечения, избирательной мобилизации исходно рассеянных рудных компонентов и областей их привноса и дифференцированного концентрирования разделяют Е.В. Плющев с соавторами [28]. Эти сочетания названы авторами рудоформирующими системами. Рудные поля, месторождения и более мелкие проявления приурочены к разделяющим эти области барьерным зонам. Сформулированные выше вопросы в полной мере распространяются на эти представления.

Полигенная концепция

Поиски факторов, определяющих образование крупных и гигантских месторождений золота, привели к разработке полигенной концепции рудообразования, каждый вариант которой при наличии некоторых общих между ними черт [29] индивидуален и приложим к конкретному месторождению или к группе однотипных месторождений [30–32]. Сравним два варианта концепции, предложенных разными коллективами для месторождения-гиганта Сухой Лог.

Согласно М.И. Кузьмину с соавторами [31], месторождение Сухой Лог создано в результате нескольких рудоподготовительных и завершающего событий, вполне самостоятельных и независимых, разделённых временными интервалами в несколько сотен млн л.

На раннем позднерифейском этапе на пассивной континентальной окраине Сибирского кратона происходило накопление специализированных на золото, элементы платиновой группы, сидеро- и халькофильные элементы пород, объединённых в хомолхинскую и аунакитскую свиты. Содержание золота в них даже за пределами рудных полей часто варьирует в пределах 3–5-кратных (до 10-кратных) превышений кларковых значений. В концентратах нерастворимого углеродистого вещества, выделенного из пород хомолхинской свиты, содержание золота достигает 1...2 г/т, в битумоидах – десятков г/т. Именно эти две свиты будут рудовмещающими для большинства месторождений и рудопроявлений Бодайбинского района.

На следующем этапе, 500...600 млн л назад, происходили складчатые процессы, покровообразование и метаморфическая переработка металлоносных отложений. С этим этапом связана миграция золота в углеродистых толщах в области пониженных Р-Т-градиентов. Произошло частичное перераспределение и концентрация золота в породах Бодайбинского прогиба, что имело важное рудоподготовительное значение. Отметим, в чём заключалось перераспределение золота, где оно концентрировалось, какие процессы обуславливали перераспределение и концентрирование, в чём заключалось важное рудоподготовительное значение этих процессов осталось за скобками – неизвестно, что имели в виду авторы.

Допускается, что какую-то роль в подготовке рудообразования сыграла эндогенная активность в девоне. Установленные в основании Бодайбинского прогиба глубинные магматические тела, аналогичные, судя по геофизическим данным, девонским щелочным базальтоидам Вилуйского рифта, возможно, являлись источником глубинного рудного флюидопотока под Бодайбинским прогибом в период девонского рифтогенеза.

В позднепалеозойскую эпоху (315 млн л) образовано месторождение Сухой Лог. Гранитный магматизм, инициировавший и сопровождавший рудный процесс, связан со становлением конкудеро-мамаканского гранитного комплекса – составной части Ангаро-Витимского батолита (320...290 млн л). К нему, в частности, относятся Константиновский шток и прогнозируемый по данным гравиразведки под месторождением Сухой Лог Угаханский гранитный плутон, состав и возраст которого, однако, остаются неизвестными по причине его недоступности. Предполагается, что в гранитных массивах центральной площади батолита существенная доля приходится на синплутонические интрузии щелочных и субщелочных базальтов. Это позволило связать образование батолита с воздействием крупнообъёмного мантийного плюма. Наличие гранитоидов и ассоциирующих с ними даек основного состава вблизи месторождения Сухой Лог свидетельствует о тепловом и вещественном (в форме флюидов) воздействии плюма и его производных, включая граниты, на осадочные образования Бодайбинского прогиба. Воздействие мантийного плюма обусловило термальную и флюидную переработку рудоносных (специализированных на золото) пород и способствовало образованию рудоносных гидротерм, создавших месторождение.

На основе радиологического определения Rb-Sr методом возраста сложенных метасоматитами прожилково-вкрапленных руд по валовым пробам и золотоносного жильного кварца по пробам кварца в истории формирования месторождения Сухой Лог установлено только два геологических события с возрастом 447 ± 6 и 321 ± 14 млн л, которые отвечают двум основным этапам формирования месторождения [32]. На раннем этапе происходило гидротермально-метасоматическое преобразование

пород хомолхинской свиты и образование прожилково-вкрапленной минерализации. На втором этапе образовались золотоносные кварцевые жилы.

Согласно этой версии, образование крупномасштабной благороднометальной прожилково-вкрапленной минерализации связано с проявлением палеозойской тектоно-магматической активизации, но остаются неясными конкретные инициировавшие рудообразование причины. Образование поздних золотоносных кварцевых жил совпадает по времени со становлением кислых интрузий конкудеро-мамаканского и аглан-янского комплексов и обусловлено флюидно-магматической деятельностью, проявленной значительно позже регионального метаморфизма вмещающих черносланцевых толщ. В [1] приводились данные, раскрывающие эволюцию взглядов данного коллектива авторов на вероятные источники золота – от базит-гипербазитового фундамента Бодайбинского прогиба и гранитных расплавов до рудовмещающих чёрных сланцев.

В приведённых примерах видно принципиальное различие вариантов полигенной (и полихронной) концепции, созданных в одно время и в приложении к одному месторождению.

Обсуждение результатов и выводы

В рамках гранитогенной концепции [1] обращает на себя внимание популярность предположения об обогащении гранитных расплавов золотом в процессе и результате палингенеза черносланцевых толщ с повышенным содержанием металла как условия последующей золотопродуцирующей способности гранитных расплавов. Тем самым подчёркивается, что гранитные расплавы становятся продуктивными на золото, если они обогащены им из вмещающих пород. Если этого не происходит, то, вероятно, не следует ожидать и связанных с гранитами месторождений. Между тем, обогащение золотом палингенных гранитов, тела которых образуются в кристаллическом субстрате с кларковыми низкими содержаниями золота, очевидно, произойти не может, но такие граниты тоже нередко сопровождаются золотыми месторождениями, близкими к ним по возрасту. Должен следовать вывод о золотопродуцирующей способности гранитных расплавов без предварительного их обогащения, что и делается.

Однако в [1] приведены факты, обнаруженные в месторождениях, образованных в кристаллическом субстрате и в черносланцевых, вмещающих крупные и гигантские месторождения золота, толщах, которые не вписываются в гранитогенную, метаморфогенную и полигенную концепции, но составляют доказательную базу базальтогенной в расширенном ее варианте.

Согласно этим фактам, к началу инъекции ранней порции металлоносных растворов после внедрения ранней порции послегранитных и последиоритовых умеренно-щелочных базальтовых расплавов остаточные гранитные расплавы, которые

могли бы быть способными генерировать металлоносные растворы, уже не существовали, поэтому в подобных случаях в объеме антидромных магматических комплексов с ранним гранитоидным магматизмом возможна только парагенетическая связь рудообразования.

Генерация последовательных порций металлоносных растворов в очагах умеренно-щелочных базальтовых расплавов, то есть генетическая связь рудообразования с поздним в рамках комплексов базитовым магматизмом, напротив, доказывается малыми промежутками времени между инъекциями расплавов и растворов, аккумулируемых при подъеме еще горячими дайками – тепловыми флюидопроводниками, которые в холодном состоянии не способны выполнять флюидопроводящую функцию, накоплением до уровней контрастных аномалий во внутрирудных дайках – флюидопроводниках долеритов на путях подъема металлоносных растворов, в околорудных метасоматических ореолах и рудах ассоциации профилейных для базитового магматизма фемофильных элементов фосфора, титана, магния и других в обрамлении глубинных разломов – каналов поступления умеренно-щелочных базальтовых расплавов и металлоносных растворов из единых глубинных – мантийных, возможно, нижнекорковых магматических очагов.

Система доказательств сформулированного вывода дополняется и другими фактами: 1) безальтернативным контролем в верхних горизонтах земной коры базитовых интрузий и золотых месторождений глубинными разломами; 2) участием в рудах восстановленных форм углерода – эпигенетических твердых углеродистых веществ, а также углеводородов в вакуолях кварца и других минералов [33]; 3) изотопными отношениями стронция в гранитах, серы сульфидов руд и углерода синрудных карбонатов, отвечающими мантийным меткам – метеоритному стандарту [34].

С позиций трех остальных концепций рудообразования перечисленные легко проверяемые факты не находят объяснения.

Ключевое значение в обосновании метаморфогенно-гидротермальной и исходных положений полигенной концепции имеют данные о природе золотоносности черносланцевых толщ – до- или синрудного происхождения аномалий, сверхкларковых (повышенных) содержаний золота и других металлов в сланцах в объемах рудных полей и за их пределами, и об условиях транспорта металлов в формирующиеся при рудообразовании рудные тела.

Между тем важнейший аргумент обеих концепций – неизменно популярное представление о повышенных (высоких) рудных содержаниях золота и других металлов в углеродистых сланцах, приобретенных ими при седиментации и/или региональном метаморфизме, как необходимой предпосылке рудообразования, опирается, как было показано выше, на противоречивые аналитические данные, а во многих публикациях вообще декларируется.

Отсутствует обоснование возможности преобладающей фильтрации крупнообъемных потоков гидротермальных растворов сквозь соответствующие объемы пород по их поровому пространству, что необходимо для накопления в месторождениях реальных запасов металла (сотни–первые тысячи тонн). Известно, и тому имеется множество доказательств, что гидротермальные растворы в своём движении предпочитают перемещаться по зонам повышенной, высокой проницаемости – разломам, зонам трещиноватости, рассланцевания, недостатка которых в сланцевых толщах нет, но потенциальные возможности которых в плане поставок металла из-за малых проницаемых объёмов достаточно ограничены. Изучение субстрата толщ углеродистых сланцев в стороне от разломов или зон скрытого рассланцевания, секущих стратификацию и согласных ей, показало, что они после регионального метаморфизма нагревания с образованием мусковит-биотитового парагенезиса сохраняются свежими и не замещены минеральными ассоциациями, обычно образованными в золотых месторождениях и их ореолах (пропилитами, березитами). Остаётся за кадром – почему золотые месторождения в кристаллическом и черносланцевом субстрате без исключения контролируются именно глубинными разломами.

Причина разногласий о природе золотонности черных сланцев представляется очевидной, обсуждалась в [35] и заключается в следующем.

В течение десятилетий применяются методы геохимических исследований, приёмы обработки аналитической геохимической информации, главным образом из области прикладной геохимии, которые по определению не способны обеспечить реконструкцию геологической истории химических элементов в породах. Анализируются средние итоговые содержания металлов в сланцах, а что стоит за ними, остаётся неясным. Практикуется выполнение геохимических исследований в автономном от минералого-петрохимических исследований метасоматических преобразований пород режиме, хотя известно, что руды, околорудные метасоматические и геохимические ореолы – производные одного гидротермального рудообразующего процесса, а интенсивность изменений пород и концентрирование или рассеяние металлов (элементов) взаимосвязаны. На этой автономности в последнее время настаивают, в частности, Т.Т. Ляхович [36], Р.В. Панфилов и И.И. Гетманский [37] и другие. Мнение И.С. Гольдберга [27], даже подкреплённое сомнительными экспериментами, о том, что из минералов могут удаляться «в заметных количествах» рудные и другие элементы без «видимых» их (минералов) изменений – это, скорее всего, из области фантастики.

Предложенные [38] и реализованные [39] во многих месторождениях и толщах черных сланцев, перечисленных в [1], методология и следующие из нее методы петролого-геохимических исследований кристаллического и черносланцевого, в том числе рудовмещающего, субстрата обеспечивают

предварительную дифференциацию минерального состава горных пород на минеральные комплексы, отвечающие этапу их образования и этапам последующих преобразований при региональном метаморфизме нагревания и околорудном метасоматизме. В соответствии с реконструкцией геологической истории горных пород по их видам и разновидностям (петротипам и литотипам) формируются поэтапные геохимические выборки для расчетов статистических параметров распределения и баланса петрогенных и рудогенных элементов в околорудном пространстве рудных полей, на их периферии и в безрудных толщах черных сланцев.

Структура околорудных метасоматических ореолов, то есть состав их минералого-петрохимических зон и порядок минералого-петрохимической зональности, а также результаты расчетов единообразно повторяются во всех изученных объектах, независимо от состава субстрата, что, очевидно, следует оценивать как доказательство корректности (достоверности) выводов. Разработана типовая универсальная схема околорудной минералого-петрохимической зональности, которой подчиняется распределение в околорудном пространстве петрогенных и рудогенных элементов.

Околорудные геохимические ореолы всегда занимают меньшие объёмы сравнительно с околорудными метасоматическими. За пределами и на дальней периферии последних содержание металлов, в том числе золота, в регионально метаморфизованных на уровне мусковит-биотитового парагенезиса черных сланцах близки к кларкам (золота в диапазоне 0,5...3,0 мг/т). По мере усиления интенсивности метасоматических преобразований пород содержания золота и сопровождающих его металлов, дисперсия их распределения, золото-серебряное отношение возрастают от одной минералого-петрохимической зоны к другой вплоть до максимальных значений в тыловой (березитовой) зоне, – больших в обрамлении рудных столбов, меньших в обрамлении слабо золотонных участков рудных тел (минерализованных зон). Как правило, в тыловых зонах усиливаются корреляционные связи золота с серебром, мышьяком, ртутью и некоторыми другими металлами. Все это доказывает образование околорудных метасоматических, геохимических ореолов и руд в каждом месторождении в результате одного (единого) рудообразующего процесса, синрудное образование аномалий золота и других металлов. В шестнадцати изученных месторождениях не выявлено случаев отклонения от этой закономерности.

Если, наконец, устранить популярное устоявшееся представление о принадлежности апочерносланцевых околорудных метасоматитов Сухого Лога к субфациям – производным регионального метаморфизма, процесса, как известно, изохимического [40], становится очевидным [41, 42] соответствие их минералого-петрохимического состава и зональности типовой универсальной околорудной петролого-геохимической метасоматической ко-

лонке, для собственно золотых гидротермальных месторождений отвечающей сопряженным березитовой и пропиловитовой формациям. В частности, содержание золота в черных сланцах рудовмещающих хомолхинской и имняхской свит в промежуточной хлоритовой минералого-петрохимической зоне околорудного метасоматического ореола составляет 2,7; 3,4; 5,4 мг/т, что незначительно повышено против кларка, но обычно для этой зоны в ряде других месторождений. По петролого-геохимическим чертам рудовмещающего субстрата и другим приведенным в [1] признакам, месторождение-гигант Сухой Лог, соседние крупные месторождения Вернинское и Чертово Корыто [43, 44] не составляют исключения из сообщества их менее знаменитых мезотермальных аналогов.

Факты свидетельствуют о том, что ни региональный метаморфизм на «регрессивном его эта-

пе», а фактически относительно локальный внутри- и околоразломный метасоматизм, ни обычно отсутствующее обогащение черных сланцев золотом до рудообразования как подготовительная операция, предпосылка, условие реализации рудных процессов не определяют образование промышленных месторождений, в том числе гигантов. Вероятно, задействованы другие факторы, например, объемы глубинных магматических очагов и, соответственно, массы генерированных в них металлосодержащих растворов и экстрагированного из базальтовых расплавов золота, условия, определяющие концентрирование или рассеяние растворов на путях подъема, верхнекорковых уровнях и другие.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по образованию. ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы». Гос. контракт № П238 от 23.04.2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Коткин В.В. Роль литологического фактора в размещении золоторудных проявлений в центральной части Ленской провинции // Вопросы геологии месторождений золота Сибири. – Томск: Изд-во Томского университета, 1968. – С. 107–108.
3. Гапон А.Е., Гапеева М.М. Закономерности локализации золоторудных узлов в южной части Патомского нагорья // Доклады АН СССР. – 1969. – Т. 185. – № 2. – С. 408–411.
4. Петров В.Г. Условия золотоносности северной части Енисейского кряжа. – Новосибирск: Наука, 1974. – 138 с.
5. Шаров В.Н., Шмотов А.П., Коновалов В.И. Метасоматическая зональность и связь с ней оруденения. – Новосибирск: Наука, 1978. – 103 с.
6. Поликарпочкин В.В., Гапон А.Е., Шергин Б.В. Проблема источников рудного вещества в Ленском золотоносном районе // Проблемы геохимии эндогенных процессов. – Новосибирск: Наука, 1977. – С. 153–162.
7. Буряк В.А. О золотоносности осадочных толщ и поведении в них золота в процессе метаморфизма и гранитизации // Геология и геофизика. – 1978. – № 6. – С. 142–146.
8. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
9. Буряк В.А. Особенности геохимических поисков по первичным ореолам золотого оруденения метаморфогенно-гидротермального типа // Геохимические поиски по первичным ореолам. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 44–49.
10. Ножкин А.Д., Гавриленко В.А. Золото и радиоактивные элементы в полифациальных отложениях верхнего докембрия. – Новосибирск: Наука, 1976. – 198 с.
11. Болтыров В.Б., Поляков В.Л., Мельников С.Ю. О генезисе золотого оруденения в черносланцевых толщах Енисейского кряжа // Геология, поиски и разведка месторождений Урала. – Свердловск: Свердловский горный институт, 1987. – С. 75–80.
12. Злобин В.А. Геохимические особенности рудовмещающих черносланцевых толщ Енисейского кряжа // Микроэлементный состав осадочных толщ как показатель условий их формирования. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1989. – С. 105–142.
13. Верниковская А.Е. Геолого-геохимические исследования рудовмещающих метаморфических толщ месторождения Эльдorado (Енисейский кряж) // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Красноярского края и Тувинской АССР: Тезисы докладов VI краевой конференции молодых специалистов. – Красноярск, 23–26 апреля 1990. – Красноярск: ПГО «Красноярскгеология», 1990. – С. 88–90.
14. Горжевский Д.И., Зверева Е.А., Ганжа Г.Б. Углеродсодержащие терригенные формации с золото-сульфидным оруденением // Советская геология. – 1988. – № 9. – С. 113–121.
15. Буряк В.А. Состояние и основные нерешенные вопросы теории метаморфогенного рудообразования // Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 43–50.
16. Жатнуев Н.С., Миронов А.Г., Дампилов Д.А., Бугаева Н.Г. Экспериментальное исследование поведения золота в магматическом и гидротермальном процессах (к проблеме источников вещества золоторудных месторождений) // Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика: Тез. докл. I Сибирского симпозиума с международным участием. – Красноярск, 1–3 декабря 1999. – Красноярск: КГАЦМиЗ, 1999. – С. 101–103.
17. Абрамов Б.Н., Чернышова Н.А. Золото и платиноиды в черносланцевых отложениях Северного Забайкалья // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология: Тез. докладов III Всеросс. симпозиума с международным участием. – Улан-Удэ, 21–25 сентября 2004. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2004. – С. 3–5.
18. Митрофанов Г.Л., Дистлер В.В., Немеров В.К., Семейкина Л.К., Юдовская М.А. Платиноносность стратиформных золоторудных месторождений рифейской окраины Сибирского континента // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления: Матер. II Всеросс. металлогенического совещания. – Иркутск, 25–28 августа 1998. – Иркутск: ООО «Сан-тай», 1998. – С. 315–316.
19. Лобанов М.П., Синцов А.В., Сизых В.И., Коноваленко С.Н. О генезисе продуктивных «углистых» сланцев Ленского золотоносного района // Доклады РАН. – 2004. – Т. 394. – № 3. – С. 360–363.
20. Чернышов И.В., Чугаев А.В., Сафонов Ю.Г., Сароян М.Р., Юдовская М.А., Еремина А.В. Изотопный состав свинца по данным высокоточного ICP MS метода и источники вещества крупномасштабного благороднометалльного месторождения Сухой Лог (Россия) // Геология рудных месторождений. – 2009. – Т. 51. – № 6. – С. 550–559.
21. Large R.R., Maslennikov V.V., Robert Francois, Danyushevsky L.V., Chang Zhaoshan. Multistage sedimentary and meta-

- morphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia // *Economic Geology*. – 2007. – V. 102. – № 7. – P. 1233–1267.
22. Shao Jun, Hui De-feng, Kong Xiang-min, Shou Nai-wu. Metallogeny of the gold deposits of China // *Geology and Resources*. – 2004. – Т. 13. – № 4. – P. 246–250.
 23. Сидоров А.А. О золотоносности углеродистых метасоматитов // *Доклады РАН*. – 2001. – Т. 378. – № 2. – С. 218–220.
 24. Парада С.Г. Условия формирования и золотоносность черносланцевых комплексов Амуро-Охотской складчатой области: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Ростов-на-Дону, 2004. – 48 с.
 25. Лось В.Л., Гольдберг И.С., Абрамсон Г.Я. Геохимические системы рудных объектов: примеры, модель, генетические и поисковые аспекты // *Геология и охрана недр*. – 2003. – № 1. – С. 24–33.
 26. Ганжа Г.Б., Ганжа Л.М. Золото-битумная минерализация в черносланцевой толще, Центральная Колыма // *Руды и металлы*. – 2004. – № 4. – С. 24–32.
 27. Гольдберг И.С. Рудообразование в геоэлектрохимических системах // *Геология и охрана недр*. – 2005. – № 2. – С. 28–40.
 28. Плющев Е.В., Кашин С.В., Молчанов А.В., Шатов В.В. Методы петрографо-геохимического картирования и прогнозно-металлогенического анализа потенциальных рудных узлов и полей гидротермально-метасоматического типа // *Поисковые геолого-геохимические модели рудных месторождений: Матер. II Всеросс. конф. по прикладной геохимии*. – Воронеж, 26–28 февраля 2009. – Воронеж: ИП Гончаровой, 2009. – С. 93–96.
 29. Дистанов Э.Г., Сотников В.И., Оболенский А.А., Борисенко А.С., Берзина А.П., Ковалев К.Р. Главные факторы формирования крупных и уникальных месторождений мантийно-коровых рудообразующих систем // *Геология и геофизика*. – 1998. – Т. 39. – № 7. – С. 870–881.
 30. Нарсеев В.А. О генезисе золото-сульфидного оруденения в черносланцевых толщах // *Отечественная геология*. – 1998. – № 5. – С. 70–75.
 31. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В., Спиридонов А.И., Немецов В.К., Иванов А.И., Митрофанов Г.Л. Геодинамические условия формирования золоторудных месторождений Бодайбинского неопротерозойского прогиба // *Доклады РАН*. – 2006. – Т. 407. – № 6. – С. 793–797.
 32. Лаверов Н.П., Чернышов И.В., Чугаев А.В., Баирова Э.Д., Гольцман Ю.В., Дистлер В.В., Юдовская М.А. Этапы формирования крупномасштабной благороднометаллической минерализации месторождения Сухой Лог (Восточная Сибирь): результаты изотопно-геохронологического изучения // *Доклады РАН*. – 2007. – Т. 415. – № 2. – С. 236–241.
 33. Кучеренко И.В., Ларская Е.С., Панкина Р.Г., Сухова А.Н., Четверикова О.П., Пентина Т.Ю., Королев Ю.М. Распределение и источники углерода в околорудных метасоматических ореолах терригенно-сланцевых толщ Байкало-Витимской геосинклинально-складчатой системы // *Геохимия*. – 1990. – № 6. – С. 797–806.
 34. Кучеренко И.В. Концепция мезотермального рудообразования в золоторудных районах складчатых сооружений Южной Сибири // *Известия Томского политехнического университета*. – 2001. – Т. 304. – № 1. – С. 182–197.
 35. Кучеренко И.В. К методике формирования выборок для расчета статистических параметров распределения и баланса химических элементов в околорудном пространстве гидротермальных месторождений золота // *Известия Томского политехнического университета*. – 2005. – Т. 308. – № 2. – С. 23–30.
 36. Ляхович Т.Т. Зональность первичных ореолов золоторудных месторождений // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. – 2004. – № 6. – С. 35–39.
 37. Панфилов Р.В., Гетманский И.И. Разноранговые аномальные геохимические поля как отражение эволюции рудогенерирующей системы // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. – 2004. – № 6. – С. 79–83.
 38. Кучеренко И.В. Петрогеохимические особенности рудообразования в сланцевых толщах // *Разведка и охрана недр*. – 1986. – № 12. – С. 24–28.
 39. Kucherenco I.V. Petrologic-geochemic evidence of geologic genetic uniformity of gold hydrothermal deposits formed in black-shale and non-shale substratum // *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. – 2007. – V. 311. – № 1. – P. 24–33.
 40. Петрографический кодекс. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования / под ред. О.А. Богатикова, О.В. Петрова. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. – 200 с.
 41. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхошин А.В. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 2. Петрология околорудного метасоматизма // *Известия Томского политехнического университета*. – 2012. – Т. 320. – № 1. – С. 28–37.
 42. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхошин А.В. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в золоторудном месторождении Сухой Лог (Ленский район). Ч. 3. Геохимия золота и серебра // *Известия Томского политехнического университета*. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 33–40.
 43. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхошин А.В. Петролого-геохимические черты околорудного метасоматизма в Вернинском золоторудном месторождении (Ленский район) // *Известия Томского политехнического университета*. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 23–33.
 44. Кучеренко И.В., Гаврилов Р.Ю., Мартыненко В.Г., Верхошин А.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола золоторудного месторождения Чертово Корыто (Патомское нагорье) // *Известия Томского политехнического университета*. – 2008. – Т. 312. – № 1. – С. 11–20.

Поступила 01.06.2012 г.