

УДК 553.411.071.242.4+550.4

ПЕТРОЛОГО–ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ РУДОВМЕЩАЮЩЕГО СУБСТРАТА В ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗОЛОТА ЧАСТЬ 2. ПЕТРОЛОГО–ГЕОХИМИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ОКОЛУРУДНОГО МЕТАСОМАТИЗМА

Кучеренко Игорь Васильевич,
kucherenko.o@sibmail.com

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

Актуальность исследования заключается в необходимости корректировки и углубления геологической (металлогенической) составляющей теории образования гидротермальных месторождений золота, в рамках которой противоречивые представления о геологической обусловленности рудообразования (источниках энергии и металлоносных флюидов) укладываются в четыре конкурирующих, исключающих одна другую, гипотезы, вследствие чего невозможно разработать комплекс эффективных прогнозно-поисковых критериев оруденения.

Цель исследования: посредством использования альтернативной существующим методологии и следующих из нее методов петролого-геохимических исследований рудовмещающего, в том числе черносланцевого, субстрата получить данные (достоверные факты), способные обеспечить: 1) доказательство принадлежности эпигенетических минеральных ассоциаций этапа рудообразования в толщах околорудно-измененных углеродистых (черных) сланцев, вопреки популярным представлениям, к метасоматическим формациям и, как следствие, вещественно-генетической однородности апочерносланцевых зональных метасоматических колонок (ореолов) с образованными в несланцевом (кристаллическом) субстрате; 2) на гипсометрических уровнях залегания оруденения доказательство внешних (внепородных) источников золота и сопровождающих металлов, сосредоточенных в рудах месторождений, образованных в толщах черных сланцев.

Методы исследования: 1) атомно-абсорбционный (чувствительность $1 \cdot 10^{-8}$ мас. % для золота, серебра, $5 \cdot 10^{-7}$ мас. % для ртути), контрольные нейтронно-активационный и химико-спектральный анализы на золото (чувствительность $1 \cdot 10^{-8}$ и $3 \cdot 10^{-8}$ мас. % соответственно); 2) расчеты статистических параметров распределения и баланса металлов в околорудном, межрудном пространстве месторождений с использованием двухуровневой системы выборок, обеспечивающие реконструкцию геологической истории химических элементов и, на этой основе, корректную оценку донорского потенциала горных пород, включая черные сланцы.

Результаты исследования. Распределение золота и сопровождающих металлов в околорудном пространстве подчиняется метасоматической зональности – околорудные геохимические ореолы всегда занимают меньшие объемы сравнительно с околорудными метасоматическими. Это выражается в субкларковых содержаниях (золота 0,5...1,2 мг/т) и низкой дисперсии распределения золота, серебра, ртути в разных породах, включая регионально-метаморфизованные на уровне мусковит-биотитового парагенезиса черные сланцы, вне и в подзоне слабого изменения фронтальной зоны околорудных метасоматических ореолов, и в последовательном увеличении этих параметров, а также золото-серебряного отношения и силы корреляционных связей золота с серебром от одной минерало-петрохимической зоны к другой по мере усиления околорудных метасоматических преобразований пород с достижением максимальных значений в тыловой зоне, тем больших, чем выше содержания металлов в рудах. Разработана и описана петролого-геохимическая концепция (модель) околорудного метасоматизма в мезотермальных месторождениях золота, включающая доказательства: а) принадлежности эпигенетических минеральных ассоциаций этапа рудообразования в толщах околорудно измененных углеродистых (черных) сланцев, вопреки метаморфогенной и полигенной гипотезам рудообразования, к метасоматическим пропилитовой и березитовой формациям, образованными в несланцевом (кристаллическом) субстрате; б) синрудного происхождения контрастных геохимических аномалий металлов (сверхкларковых их содержаний) в околорудном пространстве мезотермальных золоторудных месторождений, то есть внешних (внепородных на гипсометрических уровнях залегания оруденения) источников золота и сопровождающих металлов, сосредоточенных в рудах месторождений, образованных в кристаллическом и черносланцевом субстрате.

Полученные результаты вписываются в систему доказательств геолого-генетического единства золоторудных месторождений обеих совокупностей, их принадлежности к мезотермальным и образования в черносланцевых толщах и несланцевом субстрате в составе золотопроизводящих антидромных флюидно-рудно-магматических гранит-диорит-долеритовых комплексов на поздних (базальтоидных) этапах их функционирования.

Ключевые слова:

Гидротермальные месторождения золота, кристаллический (несланцевый) субстрат, черные сланцы, околорудные (рудовмещающие) зональные метасоматические, геохимические ореолы.

Введение

В первой части статьи приведены образованные в разное геологическое время в разнообразном, включая черносланцевый, рудовмещающем субстрате созданные природой зональные околорудные околоразломные метасоматические колонки, составившие основу типовой универсальной модели околорудной метасоматической зональности в гидротермальных месторождениях золота [1–4].

Следующая из известной термодинамической теории метасоматической зональности в околорудной метасоматической колонки имеет мало общего с природной моделью. В последней не предусмотрено предписанное теорией общее снижение числа минеральных фаз от одной минеральной зоны к другой вплоть до «мономинеральности» тыловой (осевой) зоны, – напротив, возрастает число

и масса новообразованных минералов, компенсирующих синхронное растворение минералов исходных пород. В связи с этим возникает вопрос о жизнеспособности термодинамической теории метасоматической зональности, который обсуждается ниже. В соответствии с заявленной целью исследования обсуждению предшествует анализ результатов изучения распределения профильных (Au, Ag, Hg) металлов в окolorудном пространстве золоторудных месторождений на предмет оценки происхождения их повышенных, вплоть до аномальных, содержаний.

Металлы в окolorудном пространстве

Анализируется распределение во вмещающих месторождения породах трех металлов, обнаруживающих в рудах тесные геохимические связи, – золота, серебра, ртути (таблица). Аналитические данные о содержаниях металлов триады и статистические параметры их распределения в разнообразном

по составу и происхождению рудовмещающем субстрате обсуждаемых месторождений золота приведены в [2] и отчасти (для примера) в таблице.

Во всех вмещающих, в том числе черносланцевых, средах геохимические поля обладают сходными чертами строения.

Наиболее низкие субкларковые содержания металлов свойственны разным по составу и происхождению одного и разных месторождений породам фронтальной зоны метасоматических ореолов. Во всех подзонах этой зоны содержания золота, например, близки к 1,0...1,5 мг/т, иногда опускаясь до 0,5 мг/т или поднимаясь до 1,9 мг/т. Относительно низкие значения здесь же стандартного множителя (стандартного отклонения) содержаний подчеркивают слабую дисперсию распределения металлов на периферии метасоматических ореолов.

В направлении к тыловой зоне содержания и дисперсия распределения содержаний металлов,

Таблица. Оценка параметров распределения рудогенных элементов и корреляционных связей золота с рудогенными элементами в минеральных зонах окolorудных метасоматических ореолов гидротермальных золоторудных месторождений юго-восточного складчатого обрамления Сибирского кратона

Table. The appraisal of the distribution parameters of the oreogenous elements and gold correlation connections with oreogenous elements in mineral zones of hydrothermal gold-ore deposits near-ore metasomatic haloes in south-eastern folded frame of Siberian craton

Элементы Elements	Параметры распределения Distribution parameters	Минералого-петрохимические зоны и подзоны [число проб] Mineral-Petrochemic zones and subzones [number of samples]					
		Фронтальная/ Frontal			Хлоритовая Chloritic	Альбитовая Albitic	Тыловая Rear
		Подзоны/ Subzones					
		Слабого изменения Weak alteration	Умеренного изменения Moderate alteration	Интенсивного изменения Intensive alteration			
Кристаллический (несланцевый) субстрат/ Crystal (non-shale) substratum <i>Ирокиндинское месторождение/ Irokindinskoe deposit</i>							
<i>I. Альмандин-диопсид-двуполевошпатовые парагнейсы (AR)/ I. Almandine-diopside-two-feldspathic paragneisses (AR)</i>							
Au	$\bar{x}\bar{z}(\bar{x})$	0,7(1,1) [29]	0,6(0,7) [48]	0,7(0,7) [29]	0,7(0,8) [23]	16,5(47,0) [65]	49,9(228,8) [169]
	$t(s)$	2,1(1,8)	1,5(0,3)	1,5(0,3)	1,4(0,3)	4,0(94,0)	5,7(646,0)
Ag	$\bar{x}\bar{z}(\bar{x})$	35,7(43,9)	50,0(55,9)	60,3(85,3)	56,8(92,7)	153,1(222,0)	134,3(268,1)
	$t(s)$	1,8(36,8)	1,7(25,3)	2,2(95,1)	3,2(109,8)	2,3(239,8)	2,9(590,8)
	$r(sr)$	0,73 (0,12)	0,02(0,20)	0,38(0,22)	0,68 (0,14)	0,82 (0,06)	0,50 (0,12)
	Au/Ag	0,02	0,01	0,01	0,01	0,1	0,37
Hg	$\bar{x}\bar{z}(\bar{x})$	17,1(22,0)	15,6(18,2)	19,3(34,4)	21,7(34,8)	19,7(33,4)	28,7(55,2)
	$t(s)$	2,0(17,0)	1,7(11,5)	2,4(56,5)	2,3(53,8)	2,6(47,0)	2,9(99,4)
	$r(sr)$	-0,07(0,19)	-0,36 (0,13)	-0,10(0,18)	0,04(0,27)	0,05(0,11)	0,07(0,08)
	Au/Hg	0,04	0,04	0,04	0,03	0,83	1,74
<i>II. Граниты мигматитовой выплавки (AR)/ II. Granites of migmatitic melting (AR)</i>							
Au	$\bar{x}\bar{z}(\bar{x})$	0,6(0,7)[28]	0,6(0,7)[10]	0,6(0,7)[17]	1,5(1,7)[49]	6,4(23,2)[99]	50,7(335,2)[24]
	$t(s)$	1,6(0,4)	1,4(0,2)	1,4(0,2)	1,8(0,9)	4,9(45,7)	10,6(688,3)
Ag	$\bar{x}\bar{z}(\bar{x})$	47,9(70,3)	58,9(77,2)	47,3(54,8)	19,0(26,1)	96,8(122,9)	158,5(318,5)
	$t(s)$	2,4(71,6)	2,4(50,2)	1,8(27,3)	2,3(19,8)	2,2(78,2)	3,1(513,4)
	$r(sr)$	0,18(0,27)	-0,08(0,35)	0,28(0,28)	-0,37(0,22)	0,40 (0,15)	0,81 (0,10)
	Au/Ag	0,01	0,01	0,01	0,07	0,06	0,32
Hg	$\bar{x}\bar{z}(\bar{x})$	20,6(24,1)	21,8(28,3)	16,2(30,1)	17,1(19,6)	27,8(41,0)	34,5(41,1)
	$t(s)$	1,7(16,6)	2,2(20,9)	2,5(55,1)	1,7(11,8)	2,4(45,9)	2,0(22,0)
	$r(sr)$	-0,15(0,27)	-0,58 (0,24)	-0,20(0,29)	0,49 (0,20)	0,14(0,18)	0,02(0,23)
	Au/Hg	0,03	0,03	0,04	0,09	0,23	1,47

Окончание таблицы

Table

Элементы Elements	Параметры распределения Distribution parameters	Минералого-петрохимические зоны и подзоны [число проб] Mineral-Petrochemic zones and subzones [number of samples]					
		Фронтальная/Frontal			Хлоритовая Chloritic	Альбитовая Albitic	Тыловая Rear
		Подзоны/Subzones					
		Слабого изменения Weak alteration	Умеренного изменения Moderate alteration	Интенсивного изменения Intensive alteration			
Регионально-метаморфизованные углеродистые сланцевые толщи/Regional metamorphosed carbonaceous slate terranes							
<i>Кедровское месторождение/Kedrovskoe deposit</i>							
III. Углеродистые мусковит-биотитовые полевошпат-кварцевые песчано-алевро-сланцы кедровской свиты (R ₃) III. Carbonaceous muscovite-biotitic feldspar-quartz sandstone-aleuro-slates of kedrovskaya suite (R ₃)							
Au	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	1,2(1,6) [37]	0,7(1,5) [15]	1,1(1,7) [23]	1,8(2,6) [123]	3,9(6,9) [209]	5,8(15,3) [27]
	$t(s)$	2,1(1,5)	2,9(2,7)	2,7(1,6)	2,0(4,0)	2,8(9,5)	4,5(19,9)
Ag	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	26,7(32,1)	23,3(26,0)	56,6(91,7)	61,7(165,1)	135,8(223,4)	165,0(278,5)
	$t(s)$	1,9(20,9)	1,6(13,9)	2,6(116,6)	4,6(340,4)	2,6(359,5)	3,1(257,0)
	$r(sr)$	0,001(0,2)	0,79 (0,11)	0,22(0,21)	0,21(0,12)	0,11(0,09)	0,44 (0,16)
	Au/Ag	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04
Hg	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	18,0(26,3)	28,3(34,7)	22,0(30,4)	24,5(34,1)	17,5(23,5)	30,5(36,0)
	$t(s)$	2,8(20,7)	2,1(18,7)	2,2(27,0)	2,4(30,1)	2,1(20,6)	1,8(21,4)
	$r(sr)$	0,35 (0,16)	0,50 (0,22)	0,20(0,21)	-0,15(0,12)	-0,11(0,08)	0,58 (0,13)
	Au/Hg	0,07	0,02	0,05	0,07	0,22	0,19
<i>Каралонское месторождение/ Karalonskoe deposit</i>							
IV. Углеродистые мусковит-биотитовые полевошпат-кварцевые песчано-алевро-сланцы водораздельной свиты (R ₃) IV. Carbonaceous muscovite-biotitic feldspar-quartz sandstone-aleuro-slates of vodorazdel'naya suite (R ₃)							
Au	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	1,0(1,1) [15]	н/д	1,6(2,0) [11]	2,0(2,8) [34]	2,0(3,5) [7]	24,7(73,5) [6]
	$t(s)$	1,6(0,4)	н/д	1,9(1,8)	2,4(2,6)	2,8(5,1)	5,6(100,9)
Ag	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	25,1(35,1)	н/д	34,9(64,7)	45,6(65,1)	29,4(44,5)	53,3(60,2)
	$t(s)$	2,2(34,8)	н/д	2,9(99,3)	2,4(75,0)	2,9(39,9)	1,8(29,6)
	$r(sr)$	0,56 (0,18)	н/д	0,73 (0,14)	0,52 (0,12)	0,80 (0,13)	0,70 (0,21)
	Au/Ag	0,04	н/д	0,04	0,04	0,07	0,4
Hg	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	32,4(37,3)	н/д	47,0(49,0)	58,0(68,6)	42,2(61,6)	44,6(46,5)
	$t(s)$	1,8(19,2)	н/д	1,4(14,8)	1,7(61,4)	2,5(63,5)	1,4(16,3)
	$r(sr)$	0,12(0,25)	н/д	0,007(0,3)	-0,22(0,16)	0,55 (0,26)	-0,30(0,37)
	Au/Hg	0,03	н/д	0,03	0,03	0,05	0,55
<i>Ирокиндинский прогиб/Irokindsinskii trough</i>							
V. Углеродистые мусковит-биотитовые алевро-пелито-сланцы мухтунной свиты (R ₃) V. Carbonaceous muscovite-biotitic aleuro-pelito-slates of muhtunnaiya suite (R ₃)							
Au	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	н/д	н/д	н/д	0,6(0,6) [39]	0,6(0,7) [24]	1,0 [1]
	$t(s)$	н/д	н/д	н/д	1,6(0,3)	1,6(0,5)	н/д
Ag	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	н/д	н/д	н/д	14,7(16,2)	19,8(25,7)	19,0
	$t(s)$	н/д	н/д	н/д	1,6(7,1)	2,1(19,0)	н/д
	$r(sr)$	н/д	н/д	н/д	0,27(0,15)	0,53 (0,15)	н/д
	Au/Ag	н/д	н/д	н/д	0,04	0,03	н/д
Hg	$\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$	н/д	н/д	н/д	15,1(17,8)	16,6(18,1)	12,5
	$t(s)$	н/д	н/д	н/д	1,8(10,4)	1,5(7,9)	н/д
	Au/Hg	н/д	н/д	н/д	0,04	0,04	0,08

Примечание. 1) I–V исходные породы. 2) $\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$ – среднее соответственно геометрическое и арифметическое содержание, мг/т; t – стандартный множитель; s – стандартное отклонение содержаний, мг/т; r – коэффициент парной линейной корреляции элементов с золотом, выше уровня значимости обозначен жирным шрифтом; sr – стандартное отклонение коэффициента корреляции; н/д – нет данных. 3) Содержание Au и Ag определялось [1. Табл. 1], содержание Hg – атомно-абсорбционным методом (чувствительность 5 мг/т) в ЦЛ ПГО «Березовгеология» (г. Новосибирск) под руководством Н.А. Чарикова. 4) Расчеты выполнены Н.П. Ореховым.

Note. 1) I–V are the initial rocks. 2) $\bar{x}\bar{x}(\bar{x})$ is the moderate geometric and arithmetic content accordingly, mg/t; t is the standard multiplication; s is the standard digression of the contents, mg/t; r is the coefficient of couple linear correlation of the elements with gold higher of significance level, in bold type; sr is the standard digression of the correlation coefficient; н/д is no data. 3) Content of Au and Ag was determined by [1. Table 1], Hg content was determined by means of atomic-absorption method (sensitivity is 5 mg/t) in CL «Bere-zovgeology» (Novosibirsk) under the guidance of N.A. Charikov. 4) The calculations were fulfilled by N.P. Orekhov.

как правило, возрастают, достигая в березитах тыловой зоны максимальных значений.

Содержания золота во внутренних альбитовой и тыловой зонах ореолов в абсолютном выражении зависят от степени золотоносности рудных тел, чего не наблюдается во фронтальной зоне. Зависимость выражается в том, что наиболее обогащены золотом породы этих зон в обрамлении рудных столбов и жил с крупными запасами металла и средними содержаниями его в рудах на уровне не менее десятков ... многих десятков г/т. Такую ситуацию представляют ореолы Ирокиндинского месторождения, внутренние зоны которых опробованы в том числе в обрамлении наиболее крупных с высокими промышленными параметрами Тулуинской, Юрасовской, № 30 жил. Среднее геометрическое содержание золота здесь достигает десятков мг/т, серебра – превышает 100 мг/т; заметно увеличивается содержание ртути. Синхронно и резко возрастают показатели дисперсии содержаний. Картина стабильного увеличения в метасоматитах внутренних зон содержаний металлов и дисперсии их распределения (последнее не всегда) сохраняется в ореолах, обрамляющих бедные руды, в частности в черных сланцах, со средними содержаниями золота не более нескольких г/т. Однако в обрамлении слабо золотоносных жил березиты тыловой зоны аподолеритовых ореолов Западного и аподиоритовых ореолов Кедровского месторождений [2], например, обогащены золотом до уровня всего нескольких мг/т. В обрамлении минерализованных зон в углеродистых сланцах (Каралонское месторождение, таблица) ситуация промежуточная, отвечающая невысокой их золотоносности, со средним содержанием золота, редко превышающим 10 г/т.

Субкларковые содержания металлов сохраняются и во внутренних зонах метасоматического ореола среди углеродистых сланцев в удалении от минерализованных (рудных) зон и при их отсутствии (мухтунная свита, таблица).

Обычны сильные корреляционные связи в объеме околорудных метасоматических ореолов в целом и во внутренних их зонах между золотом и серебром, эпизодические – между золотом и ртутью. При этом заметный рост содержаний ртути во внутренних зонах ореолов только в аподиоритовых и апосланцевых ореолах Кедровского месторождения сопровождается усилением здесь положительных связей ее с золотом (таблица).

Слабый или сильный рост золото-серебряного и золото-ртутного отношений вплоть до значений, свойственных рудам (0,5...1,5), в направлении к тыловой зоне и особенно в последней также обычны, но фиксируются не всегда. Рост означает изменение количественных соотношений металлов в рудах сравнительно с породами в ходе рудообразующих процессов в пользу золота, что свойственно мезотермальным месторождениям.

Параметры распределения (средние, дисперсия, Au/Ag-отношение) золота и серебра в мине-

ральных зонах рудовмещающего пропилит-березитового апочерносланцевого метасоматического ореола месторождения Чертово Корято повторяют с незначительными отклонениями картину распределения обоих металлов, характеризующую петролого-геохимическую модель. Относительно низкие средние содержания металлов триады во фронтальной зоне ореола, образованного в регионально-метаморфизованных на уровне мусковит-биотитового парагенезиса черных сланцах ранне-протерозойской михайловской свиты, отвечающие, вероятно, местным кларкам, более высоким сравнительно со значениями в черных сланцах позднерифейских водораздельной, кедровской, мухтунной свит Северного Забайкалья, также возрастают по мере усиления метасоматических преобразований пород вплоть до максимальных значений во внутренних зонах. Вместе с тем умеренный рост параметров распределения, невысокие абсолютные их значения согласуются с ситуацией в черных сланцах упомянутых свит. Однако в обсуждаемом месторождении не зафиксировано подобного направленного увеличения параметров распределения ртути, обычного в ореолах других месторождений. В свою очередь, заметный рост во внутренних зонах Au/Ag-отношения определяется опережающим накоплением здесь золота, резкое возрастание Au/Hg-отношения – при увеличении массы золота незначительным поступлением ртути. Последнее, вероятно, представляет исключение из общего правила.

Обсуждение результатов и выводы

Вещественно-генетическая однородность золоторудных месторождений, зафиксированная в петролого-геохимической модели рудовмещающего субстрата вне зависимости от его состава и происхождения, отражает универсальный характер золотопроизводящих систем, которые по совокупности доказательств квалифицированы как мезотермальные.

Достоверность модели определяется:

- повторяемостью состава и порядка минералого-петрохимической [1] и геохимической [2] (табл.) зональности околорудных метасоматических ореолов, представляющих сочетание березитовой во внутренних и пропиловитовой в промежуточной хлоритовой и фронтальной зонах формаций, во всех изученных золоторудных месторождениях, очевидно, – следствием геолого-генетического единообразия гидротермальных золотопроизводящих систем;
- подтверждением сочетания минеральных ассоциаций упомянутых формаций в природных метасоматических колонках с результатами экспериментального моделирования метасоматитов в лабораторных условиях [5].

В рассмотренных рядах минеральных замещений от фронтальной зоны к тыловой просматрива-

ется снижение числа минеральных фаз (актинолит-тремолит, эпидот, хлорит, альбит), которое должно было бы быть обусловлено последовательным от зоны к зоне переходом в подвижное состояние кальция, магния, железа, натрия, отчасти кремния, алюминия. Однако, учитывая состав минерало-петрохимических зон и результаты межзональных балансовых расчетов, следует констатировать, что, вопреки теории, удаляется, причём лишь из внутренних зон, только натрий, а выносимый частично кремний, вероятно, переотлагается в кварцевых жилах и прожилках, в то время как другие элементы остаются инертными, поскольку фиксируются здесь же, в минеральных зонах, в составе новообразованных хлорита, эпидота, карбонатов, серицита и других минералов. Следующий из известных положений теории метасоматической зональности мономинеральный состав осевой зоны, даже если за таковую принимается карбонатно-сульфидно-кварцевая жила, в средне-низкотемпературных метасоматических колонках не достигается, что подтверждается приведенными материалами и в экспериментах [5].

Предлагается следующее объяснение условий формирования полиминерального состава внутренних зон пропилит-березитовых метасоматических колонок.

Ключевое положение теории метасоматической зональности, как известно, опирается на представление о дифференциальной подвижности – инертности компонентов, регулируемых в основном изменяющимися в пространстве и времени термодинамическими и физико-химическими режимами метасоматического процесса.

Полное растворение минерала сложного состава на внутренней границе каждой минерало-петрохимической зоны сопровождается переходом в подвижное состояние и удалением из системы участвовавших в его составе подвижных в существующих условиях химических элементов и фиксации в образующихся минералах инертных. Скажем, высвобождаемые при растворении альбита на внутренней границе альбитовой зоны, смежной с тыловой березитовой, натрий почти полностью удаляется с растворами, а кремнезем и глинозем могут полностью или частично входить и входят в состав образующегося серицита. Высвобождаемые из хлорита, при замещении его мусковитом на границе хлоритовой и альбитовой зон, магний и железо переходят в образующиеся здесь же и в соседних альбитовой, березитовой зонах карбонаты, усложняя их состав. Высвобождаемый при замещении во фронтальной зоне биотита или амфибола хлоритом титан фиксируется в последнем в форме рутила (лейкоксена), образуя сагенитовую решетку, сохраняющуюся в замещающем хлорит на внутренней границе хлоритовой зоны мусковите. Эти и другие подобные факты наблюдаются в рядах минеральных замещений в обсуждаемых метасоматических ореолах от фронтальной минерало-пе-

трохимической зоны к тыловой, подтверждаются в периферийных зонах метасоматических ореолов балансовыми расчетами химических составов пород, изменяющихся здесь в основном посредством перераспределения внутренних ресурсов химических элементов.

Очевидно, для того, чтобы метасоматит в тыловой зоне формировался мономинеральным, необходимо удаление (вынос) из ореола всех последовательно от зоны к зоне приобретающих подвижность компонентов, кроме того или тех, которые, сохраняя инертность, фиксируются в минерале тыловой зоны. В кислотных метасоматитах (березите, грейзене) при РН растворов < 7 это должен быть и есть кремнезем, а минерал – кварц. Другими словами, в метасоматическом процессе пропилит-березитового профиля система порода-раствор в объеме формирующегося ореола должна быть открыта только в сторону выноса компонентов. В отличие от теории в природе это условие не соблюдается.

Поступающие в разломно-трещинные структуры и инициирующие метасоматический процесс и рудообразование горячие металлоносные растворы, судя по оставленным ими вещественным следам, имеют чрезвычайно сложный состав растворенных химических соединений. Они образуют с трещинно-поровыми растворами вмещающих пород гидравлически единые разломно-поровые породно-флюидные системы, в которых при реализации концентрационно-диффузионного механизма массопереноса происходит встречная миграция растворенных компонентов в соответствии с градиентами их концентраций – из трещинного раствора в поровый и из порового – в трещинный. Получены эмпирические доказательства реализации концентрационно-диффузионного механизма массопереноса в контрастных по химическому составу средах – обмена компонентами (CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , CO_2 и другими) между породами также и внутри ореолов [6]. Поступающие с растворами фемофильные петрогенные и рудогенные элементы мигрируют в боковые породы и обогащают прилегающие к раствороподводящим разломам метасоматиты внутренних зон окolorудных метасоматических ореолов с образованием в них контрастных аномалий. Удаляемые из тыловых зон ореолов натрий, частично кремнезем и компоненты, которыми обогащены исходные боковые породы, фиксируются в жилах и прожилках (кремнезем, иногда натрий, кальций, алюминий в кварце и полевых шпатах) или рассеиваются.

Таким образом, создающие метасоматические ореолы (колонки) и руды природные флюидно-породные системы открыты в сторону привноса и выноса компонентов. Судя по результатам балансовых расчетов вещества и минерало-химическому составу производных рудообразующих процессов, в метасоматические колонки, преимущественно в их внутренние зоны, в том числе руды, поступает почти все, доставляемое металлоносными раство-

рами, но, вопреки теории, из пород мало что удаляется. В этих условиях общее снижение числа минеральных фаз и образование мономинеральной породы невозможно.

Из приведенных материалов следует, что метасоматический процесс в окологорудном (околотрепцинном) пространстве функционирует в природе по-иному, в сравнении с прописанным в термодинамической теории метасоматической зональности, сценарию – удаления петрогенных компонентов из поровых флюидов в трещинные и в целом из системы вплоть до «мономинеральности» тыловой зоны окологорудных (околожильных) метасоматических колонок, за исключением одного компонента – натрия, вытесняемого более сильным основанием калием, не происходит.

По расчетам, количества выделяемого из пород кремнезема, до 30 мас. % в экспериментах [5], достаточно для образования кварцевых жил и прожилков. В природных индивидуальных колонках [1. Табл. 3] фиксируется вынос кремния из тыловой зоны до 50 мас. %. Сокращение мощности, а следовательно, и объема внутренних зон ореолов или их «выпадение» из колонок вверх по восстанию крупных рудоносных структур, сопровождаемое прекращением выноса кремния из пород при сохранении или увеличении масштабов кварцевого выполнения в верхних горизонтах месторождений (Сухой Лог, Тулуинская, № 30, Хребтовая жилы Ирокиндинского, Шаманские и другие жилы Кедровского месторождений и др.) иллюстрирует справедливость известного представления о способности кремния перемещаться в верхние части рудно-метасоматических колонн от уровней его выноса [7 и др.]. Вместе с тем вынос из рудовмещающих алюмосиликатных пород кремния в количествах, достаточных для образования кварцевого выполнения рудовмещающих структур, возможен при условии поступления в блоки метасоматизма и рудообразования щелочных флюидов с низкими концентрациями этого элемента или стерильных в отношении его.

Высокая контрастность положительных калиевых, углеродных (углекислотных), сернистых аномалий в изученных индивидуальных метасоматических колонках, постоянно повторяющаяся в разные геологические эпохи в различных геологических обстановках на разных гипсометрических уровнях месторождений при отсутствии достоверно зафиксированных ореолов выноса этих элементов и при региональных масштабах проявления аномалий вдоль рудоносных структур, свидетельствует о внешних относительно занятых месторождениями блоков источника сверхкларковых масс всех трех элементов.

Поступление с металлоносными растворами в область рудообразования значительных масс фемофильных элементов, фиксация их во внутренних окологорудных зонах метасоматических ореолов, снижение концентраций этих элементов

до кларковых уровней по мере удаления от глубинных разломов в сочетании с синхронным в этом же направлении снижением средних содержаний и запасов золота в рудах подчеркивают рудоконтролирующую роль глубинных разломов через их раствороподводящую функцию [1, 2].

В силу минералого-петрохимического и геолого-генетического родства метасоматитов и оруденения на рассматриваемых рудоносных площадях, нет оснований исключать преимущественно концентрационно-диффузионный механизм формирования окологорудных (окологорудных) метасоматических ореолов и метасоматической зональности в разном, в том числе черносланцевом субстрате, эмпирические доказательства реализации которого приведены в [6]. Факты указывают на то, что металлоносные флюиды поступают в блоки метасоматизма и рудообразования не путем фильтрации по поровому пространству пород, а по раствороподводящим разломам, консервируются в «слепых» структурах, образуя с порово-трещинными растворами пород единые гидравлически связанные, но химически неравновесные системы. Несколько фактов в доказательство этого имеют первостепенное значение.

Первый заключается в том, что мезотермальные золотые месторождения без исключений залегают в зонах деформационного воздействия глубинных разломов, группируясь в протяженные цепочки вдоль последних и в узлы в местах пересечения разломов. Этот факт демонстрирует их раствороподводящую роль.

Сформулированный вывод аргументируется и другими фактами – обогащением золотом и сопровождающими металлами внутренних зон метасоматических колонок, снижением содержаний металлов до кларковых уровней в периферийных, в частности во фронтальной, зонах [2] (табл.), прямой зависимостью концентраций металлов в метасоматитах внутренних зон от степени золотоносности (металлоносности) смежных с ними рудных тел, отсутствием признаков гидротермальных метасоматических изменений пород, в том числе и черных сланцев, за пределами сравнительно локальных окологорудных метасоматических ореолов. Черные сланцы, например, повсеместно в Ленском, Енисейском, Муйском и других районах вне локальных следующих разломам окологорудных метасоматических ореолов содержат регионально-метаморфический мусковит-биотитовый с турмалином парагенезис с совершенно свежим биотитом без признаков воздействия поздних гидротермальных растворов этапов рудообразования. Все эти факты доказывают перемещение металлов и петрогенных компонентов из разломно-трещинных растворов с высокими их концентрациями в менее концентрированные поровые растворы боковых пород и отложение основной их массы в полнопроявленных метасоматитах внутренних зон, обрамляющих разломно-трещинные рудовмещающие структуры.

Приведенные факты не вписываются в метаморфогенную гидротермальную и полигенную концепции рудообразования, предполагающие [8–14] местные породные источники золота и других металлов.

Углеродистые сланцевые толщи, как и иной рудовмещающий субстрат, подвержены аналогичному с ним околорудному метасоматизму, как это следует из приведенных данных, пропилит-березитовой формационной принадлежности. Это важно подчеркнуть, поскольку вопрос о сущности минерало-петрохимических преобразований терригенных сланцев в связи с рудообразованием в них, как и вопрос о механизмах массопереноса посредством транспорта потоком движущегося раствора или околоразломной диффузии, имеет ключевое значение в разработке геолого-генетической модели формирования золотого оруденения.

Известно, что минерало-петрохимические черты околорудного метасоматизма и его механизмы используются в качестве критериев различия магматогенно- и метаморфогенно-гидротермальных месторождений. Предполагается, например, возникновение в ареалах зеленосланцевого регионального метаморфизма минеральных зон – субфаций: биотит-хлоритовой, хлорит-серицитовой, альбит-серицитовой, серицит-карбонатной до начала рудообразования, и наложение на перечисленные ассоциации более поздних продуктов околорудного метасоматизма, близких к ним по составу [15–18]. Это предположение трансформируется в представлении о минерало-петрохимической специфике апосланцевых околорудных метасоматитов, то есть к отрицанию принадлежности их, в том числе в Ленском районе, к метасоматическим формациям, свойственным и магматогенно-гидротермальным золоторудным месторождениям.

Между тем обсуждаемые материалы показывают, что порядок минерало-петрохимической зональности и направленность, сущность преобразований минерало-химического состава пород в минерало-петрохимических зонах апосланцевых метасоматических ореолов в золоторудных районах обрамления Сибирского кратона согласуются с таковыми в рудных полях, образованных в любом другом субстрате, а минерало-петрохимические зоны околорудных метасоматических ореолов аналогичны субфациям «регрессивного регионального метаморфизма»: биотит-хлоритовая субфация отвечает фронтальной зоне, хлорит-серицитовая – хлоритовой (эпидот-хлоритовой), альбит-серицитовая – альбитовой, серицит-карбонатная – тыловой (березитовой). Каких-либо промежуточных минеральных ассоциаций, образованных после прогрессивного этапа регионального метаморфизма нагревания (мусковит-биотитовый с турмалином, альмандин-биотитовый, альмандин-диопсидовый и другие парагенезисы), но до начала околорудного метасоматизма, в сланцевых толщах региона не обнаружено. Поэтому дискуссия о сла-

бости или интенсивности околорудных изменений в черных сланцах и о сходстве-различии минеральных ассоциаций регионального регрессивного метаморфизма и околорудного метасоматизма носит по существу терминологический характер: различными терминами обозначается одно и то же. Субфации «зеленосланцевого регрессивного метаморфизма» и соответствующие им минерало-петрохимические зоны околорудных метасоматических колонок – это следствие одного процесса – относительно локального сопровождаемого рудообразованием метасоматизма.

Поскольку мы имеем дело в сланцах с околорудным метасоматизмом в его конкретном формационном выражении, представляется корректным использовать терминологическую базу, применяемую при исследованиях метасоматических формаций с их зональными колонками, в обсуждаемых месторождениях сложными метасоматитами тыловой (березитовой) и периферийных (пропилитовых) зон. Это целесообразно сделать и по другим причинам. «Регрессивный метаморфизм» – это не изохимический процесс, каковым по определению должен быть метаморфизм, но аллохимический. В наше время по-прежнему называть аллохимический гидротермальный процесс метаморфизмом – это нонсенс. Гидротермальный метасоматизм на «регрессивном этапе регионального метаморфизма», как правило, происходит через сотни или многие сотни млн лет после прогрессивного собственно регионального зонального метаморфизма нагревания, овестьленного в минеральных зонах, занимающих обширные пространства со стабильными минеральными составами. Минеральные зоны позднего метасоматизма, в том числе сопровождаемого оруденением, контролируются иными – локальными структурами, в сравнении с минеральными зонами прогрессивного регионального метаморфизма. Поздний метасоматизм не связан с последним причинно-следственными связями, о чем можно судить по ряду признаков – значительным временным интервалам, отделяющим один процесс от другого, происхождением флюидов и другим. С учетом приведенных соображений к наиболее низкотемпературной фации зонального регионального метаморфизма нагревания следует относить породы, содержащие мусковит-биотитовый метаморфический парагенезис, а все более низкотемпературные ассоциации, на него наложенные (хлорит, эпидот, альбит и пр.), квалифицировать как производные позднего гидротермального метасоматизма, большей частью не имеющего отношения к предшествующему региональному метаморфизму.

При стандартной минерало-петрохимической зональности апочерносланцевых околорудных (рудовмещающих) метасоматических ореолов тыловая березитовая и смежная с ней альбитовая зоны с окислением в них керогена и, как следствие, осветлением пород до нормальных светло-

серых березитов и березитоидов (с альбитом) образованы эпизодически. Они слагают и обрамляют некоторые минерализованные зоны прожилково-вкрапленных золото-сульфидно-кварцевых руд и образуют мощные, до десятков метров, залежи массивных метасоматитов с прожилково-вкрапленной золото-сульфидно-кварцевой минерализацией [1. Табл. 3, колонки XVI–XXI]. Одна из таких мощных залежей изучена в углеродистых сланцах кедровской свиты (колонка XVI). В месторождении Чертово Корято зафиксировано осветление метасоматитов в части объема мощной хлоритовой зоны, вследствие чего она разделена на две – с керогеном и без него. Вместе с тем в экзоконтактах подавляющего большинства крупных золотоносных кварцевых жил и множества мелких прожилков сланцы не осветлены и изменены на уровне разных зон. Известны метасоматиты, по минералого-химическому составу отвечающие березитам, но сохранившие кероген и, соответственно, черный цвет.

По данным Е.А. Вагиной [19], изотопные отношения углерода карбонатов в осветленных апочерносланцевых березитах месторождения Чертово Корято имеют промежуточные значения $\delta^{13}\text{C} = -12,0 \dots -15,0 \text{ ‰}$ между изотопно тяжелым (мантийным) углеродом жильных карбонатов $\delta^{13}\text{C} = -7,0 \text{ ‰}$ (месторождение Сухой Лог) и изотопно легким восстановленным углеродом керогена черных сланцев ($\delta^{13}\text{C} = -20,0 \dots -30,0 \text{ ‰}$). Это предполагает смешение изотопов при окислении керогена сланцев и последующий восстановительный режим в системе металлоносный трещинный раствор – поровый раствор – порода во время образования прожилков и жил. Вывод о реальности восстановительного режима металлоносных растворов при рудообразовании доказывается фактами образования черных березитов (лиственитов) в экзоконтактах золотоносных кварцевых жил (Иркиндинское месторождение) вследствие диссоциации кальцита кальцифиров до углекислоты и восстановления окисленного углерода до графита, эмульсия которого пропитывает образующийся березит. Восстановительный режим трещинных растворов, сменявший окислительный при продвижении потока растворов из очагов генерации и окисления на путях движения керогена, препятствовал окислению керогена в боках заполнявшихся уже восстановленными растворами трещин и образующихся кварцевых жил.

В поисках причин дефицита березитов в апочерносланцевых метасоматических ореолах золотых месторождений следует учитывать факты, наблюдаемые в золоторудных месторождениях, в которых мощные толщи углеродистых терригенных и терригенно-карбонатных сланцев сочетаются с прорывающими их телами магматитов и ультраметаморфитов зрелых очагово-купольных построек. В Кедровском, Каралонском, Уряхском, Зун-Холбинском месторождениях, например, залегаю-

щие в черных сланцах мощные золотоносные кварцевые жилы, минерализованные зоны прожилково-вкрапленных руд, мелкие прожилки, как правило, не сопровождаются березитами и осветлением пород, а соседние рудоносные кварцевые жилы среди гранитов, ультраметаморфитов обрамлены зонами хорошо проработанных березитов, слагающих тыловую зону околожилных зональных метасоматических колонок. Это означает, что ответ на вопрос о причинах явления заключается не в принципиальных геолого-генетических отличиях процессов рудообразования в черносланцевом, с одной стороны, и кристаллическом, с другой, субстрате, а в специфическом влиянии черносланцевой среды на физико-химическое состояние металлоносных растворов.

Корректная, как представляется, интерпретация результатов петролого-геохимического изучения рудовмещающего субстрата Сухоложского и Вернинского месторождений достигается посредством соотнесения апочерносланцевых метасоматических ореолов этих месторождений с типовой универсальной схемой метасоматической зональности. Их соответствие схеме (модели) доказывают следующие факты:

- сочетание в ореолах метасоматитов березитовой формации (березита и березитоида – березита с альбитом) во внутренних зонах и пропилитовой формации – в периферийных при минеральных замещениях в последних преобладающе за счет внутренних ресурсов петрогенных компонентов;
- аутентичный с ореолами других мезотермальных месторождений золота порядок минералого-петрохимической зональности рудовмещающих метасоматических ореолов;
- уменьшение числа минеральных фаз в смежных минералого-петрохимических зонах (полное растворение хлоритов, эпидота на внутренней границе хлоритовой, эпидотовой зон, альбита на внутренней границе альбитовой зоны) при увеличении массы минеральных новообразований от фронтальной зоны к тыловой;
- поликомпонентный кварц-серцит (мусковит)-анкерит (Mg-Fe карбонаты) с пиритом (сульфидами) состав тыловой зоны ореолов (березита);
- перераспределение в тыловой зоне щелочей с заменой более сильным основанием калием более слабого основания натрия, частичный вынос из нее кремния и отложение его в форме кварца в жилах и прожилках, поступление в ореолы восстановленной серы, углекислоты;
- фемофильная специализация золотоносных березитов с образованием контрастных аномалий калия, серы, углерода, фосфора, титана, магния, железа, кальция, марганца во внутренних зонах наиболее активной миграции компонентов.

Факт низких слабо различающихся или одинаковых значений средних содержаний золота, серебра, ртути в породах подзон слабого, умеренного,

интенсивного изменения фронтальной зоны околорудных (межрудных) метасоматических ореолов, образованных во всех обсуждаемых средах, доказывает инертность здесь металлов на этапе рудообразования и подчеркивает близость их содержаний к кларкам в соответствующих изверженных, осадочных, метаморфических породах, оцениваемым в [20]. Поэтому представляются справедливыми два положения: указанные значения отвечают местным (региональным) кларкам соответствующих исходных для метасоматизма пород; на удаленной периферии ореолов слабое воздействие растворов, обусловившее слабое изменение пород, не способно инициировать движение металлов – поступление их в породы или удаление из них. Ситуация меняется в более тыловых зонах ореолов.

Однообразная, повторяющаяся во всех средах, в том числе в черносланцевых толщах, картина распределения металлов в околорудном, межрудном пространстве золоторудных полей отражает тот факт, что в формировании геохимического содержания этого пространства действуют одни и те же законы.

Увеличение всегда и во всех породах, независимо от их предшествующей геологической истории, содержаний золота и серебра в направлении к тыловой зоне околорудных метасоматических ореолов и рудных тел, тем большее, чем выше степень золотоносности последних, служит указанием на то, что: 1) металлы мигрируют (диффундируют) при метасоматизме со стороны раствороподводящих и рудовмещающих разломов, в обрамлении которых интенсивность преобразований пород и контрастность аномалий наивысшая; 2) массы движущихся металлов определяются концентрацией их соединений в металлоносных растворах, унаследованной рудами и породами в их обрамлении; 3) концентрации металлов в породах прямо соотносятся со степенью их метасоматических преобразований.

Приведенные выводы не согласуются с утверждениями, согласно которым в золоторудных месторождениях отсутствуют признаки околорудных изменений вмещающих пород [21], а золото (металлы) способно (способны) мигрировать в породах без выраженных вещественных (минеральных) признаков их эпигенетических изменений [8]. В приложении к обсуждаемым месторождениям приведенные факты и выводы опровергают упомянутые утверждения. Вместе с тем они не противоречат представлению о диффузионном механизме массопереноса при околоразломном метасоматизме, следующему из анализа эмпирических данных [6], – по мере удаления от раствороподводящих каналов и рудовмещающих разломов, то есть источников, массы металлов, диффундирующих по заполненному горячими растворами трещинно-поровому пространству пород, постепенно снижаются.

В согласии с приведенными фактами и следующими из них выводами в околорудных метасомати-

ческих и геохимических ореолах изменяются количественные соотношения золота и серебра. На периферии ореолов в неизменных или в едва затронутых изменениями породах с субкларковыми содержаниями этих металлов низкие величины Au/Ag-отношения отражают резко отличные их кларки – содержание золота здесь более чем на порядок ниже содержания серебра. В рудах мезотермальных месторождений ситуация иная – содержание золота мало отличается от содержания серебра или даже превышает его, хотя бывают и исключения. Поэтому увеличение во внутренних зонах метасоматических колонок Au/Ag-отношения в сторону приближения его значений к свойственным рудам (0,5...1,5) так же, как и предыдущие факты, подчеркивает генетическую связь околорудных геохимических ореолов с околорудными метасоматическими и рудами, то есть образование их всех в рамках единых рудообразующих процессов.

При этом околорудные геохимические ореолы во всех породах, в том числе в толщах углеродистых сланцев, занимают меньшие объемы сравнительно с околорудными метасоматическими – первые вписываются во вторые. Очевидно, металлы способны диффундировать с чрезвычайно малой скоростью на ограниченные расстояния, и этим определяется тот факт, что основная их масса, судя по концентрациям, фиксируется в ближнем обрамлении рудных тел – во внутренних безызотовой, не всегда в смежной более удаленной альбитовой зонах максимальных преобразований околорудных метасоматических колонок. Далее, в направлении периферии ореолов, метасоматические изменения пород происходят в условиях прогрева вмещающей среды преобладающе за счет внутренних ресурсов петрогенных компонентов, что доказывается расчетами их баланса и низкими значениями удельной массы подвергнутого движению (миграции) вещества. На дальнюю периферию, как отмечалось, способны диффундировать из раствороподводящих разломов весьма подвижные углекислота и сероводород, фиксируемые там среды бескарбонатных и бессульфидных, например, пород в новообразованных кальците и пирите.

Уместно обсудить известное различие между месторождениями сланцевого типа и образованными в кристаллическом субстрате, одно из ключевых в противопоставлении месторождений той и другой совокупности и заключающееся в разных, обычно несопоставимых масштабах запасов и содержаниях золота в тех и других объектах.

В сланцевых толщах распределение всей массы поступающих из очагов генерации металлоносных растворов по множеству швов и трещинно-поровому пространству крупных объемов трещиноватых хорошо проницаемых пород обеспечивает участие их в полном объеме в рудообразовании. Все поступающее золото фиксируется в рудах и околорудном пространстве месторождений, однако при очевидных низких содержаниях его соединений в ра-

створах (по расчетам, для образования рудных столбов со средними содержаниями металла 50 г/т достаточно его концентрации в растворах до 100...200 мг/дм³) возможности для концентрирования металла в образующихся рудах в условиях крупных объемов рудовмещающей среды ограничены.

В слабо трещиноватом в общем случае кристаллическом субстрате, напротив, существуют ограниченные возможности аккумуляции всей массы металлоносных растворов, поступающих по глубинным разломам, – они рассредоточиваются лишь по малообъемным оперяющим структурам, минерализованным зонам, не способным, в силу ограниченных объемов, вместить всю массу растворов. Часть их, вероятно, значительная, перемещаясь далее вверх по раствороподводящим глубинным разломам, рассеивается вблизи поверхности или на поверхности, не задерживаясь на физико-химических и термодинамических барьерах, создаваемых метеорными водами. Вместе с растворами рассеивается и золото. Однако многократное тектоническое подновление (дробление) ранних минеральных комплексов в малообъемных жилах и минерализованных зонах и неоднократно повторяющееся поступление в них новых порций растворов с золотом обеспечивает концентрирование металла, особенно в наиболее проницаемых участках жил – рудных столбах.

Вещественно-генетическая однородность, свойственная околорудным метасоматическим и геохимическим ореолам независимы от возраста, состава и происхождения вмещающего разновозрастные месторождения субстрата, согласуется с результатами изучения составов, последовательности, термодинамических и физико-химических режимов образования рудно-минеральных комплексов обсуждаемых совокупностей месторождений золота, фазового состояния металлоносных растворов, в том числе при отложении продуктивных ассоциаций, составов и соотношений концентраций растворенных в растворах окисленных и восстановленных газов [22]. Однообразно повторяются температурные градиенты – повышение температур отложения ранних зарождений кварца каждого последующего рудно-минерального комплекса сравнительно с температурами отложения поздних зарождений кварца каждого предшествующего комплекса, подчеркивающие в сочетании с другими фактами пульсационный режим функционирования гидротермальных систем.

Присутствие в изученных месторождениях послегранитных дорудных, внутрирудных, послерудных даек умеренно щелочных долеритов в разных сочетаниях отражает чередующиеся во времени инъекции металлоносных растворов, базальтовых расплавов и, следовательно, – рудообразование в условиях высокой магматической активности мантии [23]. Преобразование внутрирудных даек долеритов среди слабо измененных или неизмененных

пород в полно проявленные (до 100 об. %) метасоматиты с участием (до 50...60 об. %) в их составе типоморфных высокотемпературных обыкновенной роговой обманки и биотита, отсутствующих в околорудных березитах и пропилитах, обусловлено флюидопроводящей в горячем состоянии функцией даек, внедрением в дайки и фильтрацией в них металлоносных растворов через промежутки времени, в течение которых дайки не успевали остыть.

Участие в составе околорудных, в том числе апочерносланцевых, березитов в ближнем обрамлении (до 1,5 км), рудоконтролирующих через раствороподводящую функцию глубинных разломов, и аподайковых (аподолеритовых) метасоматитов контрастных аномалий ассоциации фемофильных элементов – P, Ti, Mg, Fe, Ca, Mn [23, 24] в сочетании с приведенными фактами, данными об отвечающих метеоритному стандарту изотопных отношениях серы сульфидов и углерода метасоматических карбонатов руд доказывает генерацию металлоносных растворов в очагах аномальной мантии.

Предлагаемая и реализованная методика формирования геохимических выборок способна обеспечить создание, пополнение региональных, а в перспективе – глобального банков корректных геохимических данных. Корректность достигается аккумуляцией в банках только проб с реконструированной геологической историей горных пород и химических элементов в них. Пробы пород с диагностикой на уровне «углеродистые сланцы», «измененные углеродистые (углистые) сланцы», «сульфидизированные сланцы» и пр., обычной во множестве публикаций, в этом случае неуместны. Напротив, аналитические данные для проб с реконструированной геологической историей формирования их современного итогового минералого-химического и геохимического содержания пригодны для генетического анализа и генетических обобщений, необходимых для углубления теории и достижения прикладных целей.

Таким образом, результаты петролого-геохимических исследований дополняют полученную ранее систему доказательств геолого-генетического единства золоторудных месторождений обеих обсуждаемых совокупностей, их принадлежности к мезотермальным и образования в черносланцевых толщах и несланцевом субстрате в рамках функционирования золотопродуцирующих антидромных флюидно-рудно-магматических гранитдиорит-долеритовых комплексов на поздних (базальтоидных) этапах их становления [23].

Заключение

Начатая более ста лет назад и продолжающаяся до сих пор дискуссия по проблеме образования гидротермальных месторождений золота, сопровождаемая увеличением со временем числа гипотез до четырех с их многочисленными вариантами, представляет очевидное свидетельство того, что мето-

дология и следующие из нее методы решения ряда ключевых вопросов проблемы не адекватны задачам исследований. Наглядным доказательством этому служит, в частности, история оценки принадлежности околорудных изменений черных сланцев к производным регионального метаморфизма или локального метасоматизма, а околорудных метасоматитов, соответственно, к метаморфическим фациям и субфациям или метасоматическим формациям. Известна также противоречивая оценка источников сосредоточенных в рудах образованных в несланцевом (кристаллическом) и черносланцевом субстрате месторождений металлов, в том числе золота. Многовариантные решения обозначенных вопросов при дефиците достоверных фактов служат питательной средой для поддержания в конкурентоспособном состоянии существующих гипотез рудообразования.

Решить оба обсуждаемых в статье вопроса теории рудообразования без реконструкции геологической истории горных пород, петрогенных и рудогенных элементов в них, следующей из понимания геохимии отечественными основоположниками ее В.И. Вернадским и А.Е. Ферсманом, невозможно – как показал столетний опыт, дискуссия будет продолжаться бесконечно долго.

Реализация этого подхода, напротив, обеспечила получение результатов, однообразно повторяющихся в разновозрастных месторождениях, образованных в разных по составу, возрасту, происхожде-

нию средах, что, как известно, служит доказательством достоверности сделанных выводов. Эти выводы согласуются с другими, следующими из анализа фактов, полученных в месторождениях обеих обсуждаемых совокупностей и раскрывающих тектоно-геодинамические режимы их образования, последовательность, термодинамические и физико-химические условия отложения рудно-минеральных комплексов, причинно-следственные связи рудообразования с плутоническим магматизмом.

Непротиворечивые, взаимно дополняющие один другой выводы образуют ансамбль, составляющий основу концепции образования мезотермальных (плутоногенных) месторождений золота, обоснование и содержание которой приведено в цитированных в статье и других публикациях автора, а формулировка дана выше.

Судя по отрывочным данным, опубликованным в многочисленных, в том числе зарубежных работах, можно предполагать, что сфера приложения концепции не ограничивается южным горноскладчатым обрамлением Сибирского кратона, но может быть распространена на другие золоторудные районы планеты.

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.

Автор выражает благодарность м-м Т.А. Сыресиной, подготовившей статью к печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко И.В. Петролого-геохимические черты рудовмещающего субстрата в гидротермальных месторождениях золота. Часть 1. Петрология околорудного метасоматизма // Известия Томского политехнического университета. – 2016. – Т. 327. – № 4. – С. 55–68.
2. Kucherenko 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.
3. Cherkasova T., Kucherenko I., Abramova R. Rear polymineral zone of near-veined metasomatic aureole in mesothermal Zun-Holba gold deposit (Eastern Sayan) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – V. 27. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012003/pdf> (дата обращения: 10.03.2016).
4. Kucherenko I., Zhang Yuxuan, Abramova R. Mineral-petrochemical wallrock alteration of rocks in Bericul gold-ore deposit (Kuznetsk Alatau) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – V. 27. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/27/1/012006/pdf> (дата обращения: 10.03.2016).
5. Зарайский Г.П. Зональность и условия образования метасоматических пород. – М.: Наука, 1989. – 349 с.
6. Кучеренко И.В. Гидродинамика трещинно-поровых флюидно-породных взаимодействий и механизм массопереноса в процессах околотрещинного гидротермального метасоматизма // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. – С. 37–43.
7. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
8. Goldberg J.S., Abramson G., Los V.L. Depletion and enrichment of exploration for mineral deposits // Geochemistry Exploration, Environment Analysis. – 2003. – V. 3. – P. 281–293.
9. Metallogeny of gold deposits of China / Shao Jun, Hui De-feng, Kong Xiang-min, Shou Nai-wu // Geology and Resources. – 2004. – V. 13. – № 4. – P. 246–250.
10. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia / R.R. Large, V.V. Maslennikov, R. Francois, L.V. Danyushevsky, Chang Zhaoshan // Economic Geology. – 2007. – V. 102. – № 7. – P. 1233–1267.
11. The Noble Metal Distribution in the Black Shales of the Degdekan Gold Deposit in Northeast Russia / A.I. Khanchuk, L.P. Plyusnina, E.M. Nikitenko, T.V. Kurmina, N.N. Barinov // Russia Journal of Pacific Geology. – 2011. – V. 5. – № 2. – P. 89–96.
12. Synsedimentary to Early Diagenetic Gold in Black Shale-Hosted Pyrite Nodules at the Golden Mile Deposit, Kalgoorlie, Western Australia / J.A. Steadman, R.R. Large, S. Meffre, P.H. Olin, L.V. Danyushevsky, D.D. Gregory, I. Belousov, E. Lounejeva, T.R. Ireland, P. Holden // Economic Geology. – 2015. – V. 110. – № 5. – P. 1157–1191.
13. Gold mineralization in Proterozoic black shales: Example from the Haoyaoerhudong gold deposit, northern margin of the North China Craton / Wang Jianping, Liu Jiajun, Peno Runmin, Liu Zhenjiang, Baisheng Zhao, Zan Li, Yufeng Wang, Chonghao Lui // Ore geology Reviews. – 2014. – V. 63. – P. 150–159.
14. Age and pyrite-Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log Sediment-hosted gold deposit, Russia / S. Meffre, R.R. Large, R. Scott, J. Woodhead, Z. Chang, S.E. Gilbert, L.V. Danyushevsky, V. Maslennikov, J.M. Hergt // Geochim. et Cosmochim. Acta. – 2008. – V. 72. – P. 2377–2391.

15. Околорудный метасоматизм терригенных углеродистых пород в Ленском золоторудном районе / В.Л. Русинов, О.В. Русинова, С.Г. Кряжев, Ю.В. Щегольков, Э.И. Алышев, С.Е. Борисовский // Геология рудных месторождений. – 2008. – Т. 50. – № 1. – С. 3–46.
16. Соотношение процессов метаморфизма и рудообразования на золотом черносланцевом месторождении Сухой Лог по данным U-Th-Pb-изотопного SHRIMP-датирования акцессорных минералов / М.А. Юдовская, В.В. Дистлер, Н.В. Родионов, А.В. Мохов, А.В. Антонов, С.А. Сергеев // Геология рудных месторождений. – 2011. – Т. 53. – № 1. – С. 32–64.
17. Кряжев С.Г., Устинов В.И., Гриненко В.А. Особенности флюидного режима формирования золоторудного месторождения Сухой Лог по изотопно-геохимическим данным // Геохимия. – 2009. – № 10. – С. 1108–1117.
18. Гаврилов А.М., Кряжев С.Г. Минералого-геохимические особенности руд месторождения Сухой Лог // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 8. – С. 3–16.
19. Вагина Е.А. Изотопный состав углерода и кислорода в рудах золотого месторождения Чертово Корято (Патомское нагорье) // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 360. – С. 168–171.
20. Ярошевский А.А. Распространенность химических элементов в земной коре // Геохимия. – 2006. – № 1. – С. 54–62.
21. Альтшулер М.И. Тектоногенно-электрохимическая дифференциация вещества земной коры как механизм рудогенеза // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 1. – С. 30–38.
22. Вагина Е.А. Минеральные комплексы руд и генезис месторождения золота Чертово Корято (Патомское нагорье): дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Томск, 2012. – 141 с.
23. Kucherenco I.V., Zhang Yuxuan. Metallogenic problems of hydrothermal gold deposit formation: facts and arguments // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2015. – V. 24. – 012024. URL: http://iopscience.iop.org/1755-1315/24/1/012024/pdf/1755-1315_24_1_012024.pdf (дата обращения: 10.03.2016).
24. Kucherenco I.V., Gavrilov R.Yu. Femophilic elements in wall-rock metasomatites and in ores of mesothermal gold deposits – newsletter of mantle deep // International Journal of applied and fundamental research. – 2011. – № 1. – P. 37–43.

Поступила 24.03.2016 г.

Информация об авторах

Кучеренко И.В., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и разведки полезных ископаемых Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDC 553.411.071.242.4+550.4

PETROLOGIC AND GEOCHEMIC FEATURES OF ORE-CONTAINING SUBSTRATUM IN HYDROTHERMAL GOLD DEPOSITS

P. 2. PETROLOGIC AND GEOCHEMICAL CONCEPT OF NEAR-ORE METASOMATISM

Igor V. Kucherenko,
kucherenko.o@sibmail.com

National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russia

The relevance of the research is caused by the necessity to correct and elaborate on geological (metallogenical) component of the hydrothermal gold deposits formation theory within the framework of which the conflicting ideas about ore-formation geological making (energy and metalliferous fluids sources) go in four competing hypotheses eliminating one other. Therefore it is impossible to develop a complex of effective forecast-search mineralization criteria.

The main aim of the study is to prove: 1) the belonging of epigenetic mineral associations at the ore-formation stage in near-ore altering black shales series to metasomatic formations, contrary to the wide-spread ideas, and, as consequence, material-genetic similarity of apblackshales zoning metasomatic columns (haloes) with those, formed in non-shale (crystalline) substratum; 2) external (non-rock) sources of gold and other metals, concentrated in deposits formed in black shales series.

The methods used in the study. 1) Atom-absorption (sensitivity $1 \cdot 10^{-8}$ wt. % for gold, silver, $5 \cdot 10^{-7}$ wt. % for mercury), controlling neutron-stimulate, chemical-spectrum analysis for gold (sensitivity $1 \cdot 10^{-8}$ and $3 \cdot 10^{-8}$ wt. % accordingly). 2) Calculations of statistical parameters of metal distribution and balance in near-ore expanse of deposits using two-level system of selections, to ensure reconstruction of chemical elements geological history and proper appraisal of donor potential of the rocks including black shales.

The results. 1) Distribution of gold and accompanying metals in near-ore space is subject to metasomatic zoning – near-ore geochemical haloes always take up lesser volumes comparatively with the near-ore metasomatic ones. It is expressed in subclark contents (0.5–1.2 mg/t) and low distribution dispersion of gold, silver, mercury in various rocks, including black shales regionally metamorphosed on muscovite-biotite paragenesis level outside and in weak alteration subzone of frontal zone of near-ore metasomatic haloes, and in sequential increase of these parameters, as well as Au-Ag-relation and correlative connections between gold and silver from one mineral-petrochemical zone to another at intensification of near-ore metasomatic rocks alterations with achievement of maximum quantities in rear zone the more the higher metal contents in ores. 2) The Petrologic Geochemic concept (model) of the near-ore metasomatism in the mesothermal gold deposits is developed and described. It includes: a) the proofs of the article of ore-formation stage epigenetic mineral associations in near-ore altering black shales series, contrary to metamorphogenous and poligenous ore-formation hypothesis, to metasomatic formations, formed in non-shales (crystalline) substratum; b) sinore origin of contrasting geochemic anomalies of metals (their beyond-clark contents) in near-ore mesothermal gold deposits space, that is external (non-rock) of gold and other metals sources, concentrated in deposits formed in black shales series and crystalline substratum.

The results obtained fit in well in the proofs system of the geologic genetic of discussing combinations of gold-ore deposits monotony, their belonging to mesothermal ones and formation in black shales series and non-shale substratum in composition of gold-productive antidromic fluid-ore-magmatic granite-diorite-dolerite complexes on late (basaltoid) stages of their functioning.

Key words:

Hydrothermal gold deposits, crystalline (non-shale) substratum, black shales, near-ore (ore-containing) zoned metasomatic, geochemic haloes.

The research was financially supported by the Federal Education Agency. Federal Target Program «Academic and teaching staff of the innovative Russia for 2009–2013». State contract no. П238, 23.04.2010.

The author expresses thanks to T.A. Syresina for preparing the paper for publication.

REFERENCES

1. Kucherenko I.V. Petrologic and geochemic features of ore-containing substratum in hydrothermal gold deposits. P. 1. Petrology of the near-ore metasomatism. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 4, pp. 55–68. In Rus.
2. Kucherenko 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, vol. 311, no. 1, pp. 24–33.
3. Cherkasova T., Kucherenko I., Abramova R. Rear polymineral zone of near-veined metasomatic aureole in mesothermal Zun-Holba gold deposit (Eastern Sayan). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 27, article number 012003. Available at: <http://iopscience.iop.org/1755-1315/27/1> (accessed: 10.03.2016).
4. Kucherenko I., Zhang Yuxuan, Abramova R. Mineral-petrochemical wallrock alteration of rocks in Bericul gold-ore deposit (Kuznetsk Alatau). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 27, article number 012006. Available at: <http://iopscience.iop.org/1755-1315/27/1> (accessed: 10.03.2016).
5. Zaraysky G.P. *Zonalnost i usloviya obrazovaniya metasomaticheskikh porod* [Zoning and formation conditions of metasomatic rocks]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 349 p.
6. Kucherenko I.V. Hydrodynamics of fracture-pore fluid-rock interactions and mechanism of mass transfer in near-fracture hydrothermal metasomatism processes. *Prospect and protection of mineral resources*, 2010, no. 11, pp. 37–43. In Rus.
7. Buryak V.A. *Metamorfizm i rudoobrazovanie* [Metamorphism and ore formation]. Moscow, Nedra Publ., 1982. 256 p.
8. Goldberg J.S., Abramson G., Los V.L. Depletion and enrichment of exploration for mineral deposits. *Geochemistry Exploration, Environment Analysis*, 2003, vol. 3, pp. 281–293.

9. Shao Jun, Hui De-feng, Kong Xiang-min, Shou Nai-wu. Metallogeny of gold deposits of China. *Geology and Resources*, 2004, vol. 13, no. 4, pp. 246–250.
10. Large R.R., Maslennikov V.V., Francois R., Danyushevsky L.V., Chang Zhaoshan. Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia. *Economic Geology*, 2007, vol. 102, no. 7, pp. 1233–1267.
11. Khanchuk A.I., Plyusnina L.P., Nikitenko E.M., Kurmina T.V., Barinov N.N. The Noble Metal Distribution in the Black Shales of the Degdekan Gold Deposit in Northeast Russia. *Russia Journal of Pacific Geology*, 2011, vol. 5, no. 2, pp. 89–96.
12. Steadman J.A., Large R.R., Meffre S., Olin P.H., Danyushevsky L.V., Gregory D.D., Belousov I., Lounejeva E., Ireland T.R., Holden P. Synsedimentary to Early Diagenetic Gold in Black Shale-Hosted Pyrite Nodules at the Golden Mile Deposit, Kalgoorlie, Western Australia. *Economic Geology*, 2015, vol. 110, no. 5, pp. 1157–1191.
13. Jianping Wang, Jiajun Liu, Runmin Peno, Zhenjiang Liu, Baisheng Zhao, Zan Li, Yufeng Wang, Chonghao Lui. Gold mineralization in Proterozoic black shales: Example from the Haoyao-erhudong gold deposit, northern margin of the North China Craton. *Ore geology Reviews*, 2014, vol. 63, pp. 150–159.
14. Meffre S., Large R.R., Scott R., Woodhead J., Chang Z., Gilbert S.E., Danyushevsky L.V., Maslennikov V., Hergt J.M. Age and pyrite-Pb-isotopic composition of the giant Sukhoi Log Sediment-hosted gold deposit, Russia. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 2008, vol. 72, pp. 2377–2391.
15. Rusinov V.L., Rusinova O.V., Kryazhev S.G., Shhegolkov Yu.V., Alyshev E.I., Borisovsky S.E. Near-ore metasomatism of the terrigenous carbonaceous rocks in Lensk gold-ore region. *Geology of ore deposits*, 2008, vol. 50, no. 1, pp. 3–46. In Rus.
16. Yudovskaya M.A., Distler V.V., Rodionov N.V., Mokhov A.V., Antonov A.V., Sergeev S.A. Correlation of metamorphism and ore-formation processes in Sukhoi log gold black-shaly deposit according to U-Th-Pb-isotope SHRIMP-dating of the accessory minerals. *Geology of ore deposits*, 2011, vol. 53, no. 1, pp. 32–64. In Rus.
17. Kryazhev S.G., Ustinov V.I., Grinenko V.A. The fluid regime special features of gold deposit Sukhoi Log formation by isotopic-geochemical data. *Geochemistry International*, 2009, no. 10, pp. 1108–1117. In Rus.
18. Gavrillov A.M., Kryazhev S.G. Mineral-geochemic special features of Sukhoi Log deposit ores. *Prospect and protection of mineral resources*, 2008, no. 8, pp. 3–16. In Rus.
19. Vagina E.A. Isotope composition of carbon and oxygen in ores of Chertovo Koryto gold deposit (Patom mountain land). *Tomsk State University Journal*, 2012a, no. 360, pp. 168–171. In Rus.
20. Yaroshevsky A.A. Dissemination of chemical elements in earth crust. *Geochemistry International*, 2006, no. 1, pp. 54–62. In Rus.
21. Altshuler M.I. Tectonogenous-electrochemical differentiation of earth crust substratum as ore deposition mechanism. *Prospect and protection of mineral resources*, 2007, no. 1, pp. 30–38. In Rus.
22. Vagina E.A. *Mineralnye komplekсы rud i genezis mestorozhdeniya Chertovo Koryto (Patomskoe nagore)*. Dis. Kand. nauk [Mineral ore complexes and origin of the Chertovo Koryto deposit (Patom highland). Cand. Diss.]. Tomsk, 2012. 141 p.
23. Kucherenko I.V., Zhang Yuxuan. Metallogenic problems of hydrothermal gold deposit formation: facts and arguments. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2015, vol. 24, 012024. Available at: http://iopscience.iop.org/1755-1315/24/1/012024/pdf/1755-1315_24_1_012024.pdf (accessed: 10.03.2016).
24. Kucherenko I.V., Gavrillov R.Yu. Femophilic elements in wall-rock metasomatites and in ores of mesothermal gold deposits – newsletter of mantle deep. *International Journal of applied and fundamental research*, 2011, no. 1, pp. 37–43.

Received: 24 March 2016.

Information about the authors

Igor V. Kucherenko, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.