

Геология и полезные ископаемые

УДК 552.11:552:551:550.42

ВОССТАНОВЛЕННЫЕ ИНТРУЗИВНО-ГИДРОТЕРМАЛЬНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ЗОЛОТОРУДНЫЕ СИСТЕМЫ

А.Ф. Коробейников, А.И. Гусев*, А.С. Красова*

Томский политехнический университет

E-mail: paya@tpu.ru

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, г. Бийск

E-mail: anzerg@mail.ru

Восстановленные интрузивно-гидротермально-метасоматические золоторудные системы связаны с фельзитическими массивами небольших размеров и часто сопровождаются комплексом даек лампрофиров. Золотогенерирующие гранитоиды относятся к трём типам: сильно контаминированному и редуцированному, шошонитовому (SH) и адакитовому (AD). Эти системы формируют месторождения скарнового, золото-черносланцевого, жильного золото-сульфидно-кварцевого типов. Восстановленная обстановка сохраняется на всём протяжении эволюции таких систем от магматогенного до гидротермального этапов.

Ключевые слова:

Золоторудные месторождения, восстановленные системы, магматогенные флюиды, минеральный состав, изотопы стронция, кислорода, серы.

Key words:

Gold deposits, reduced systems, magmatic fluids, mineral composition, isotope strontium, oxygenium, sulfur.

Восстановленные или редуцированные золоторудные системы, пространственно и парагенетически связанные с габбро-гранитоидными интрузиями, генерируют специфические золоторудные месторождения разного масштаба – от мелких до супергигантских, к числу которых относятся месторождения мирового класса по запасам золота Мурунтау (Узбекистан), Сухой Лог (Забайкалье), Нежданинское (Якутия), Олимпиадинское (Енисейский край), Березовское, Воронцовское (Урал), Кумтор (Киргизия), Бакырчик (Казахстан) и другие [1]. Восстановительная среда во флюидах рудогенерирующих гранитоидов характеризуется тем, что основными переносчиками золота являются комплексы хлора и серы. Оптимальное сочетание параметров флюидного режима анализируемых магматитов определяет поле их кристаллизации вблизи никель-бунзенитовой буферной смеси. Высоко восстановленное состояние расплавов создаёт условия для кристаллизации таких акцессориев, как ильменит и пирит. Известно, что в сильно восстановленных габбро-гранитных магмах сера присутствует в виде HS^- , которая более растворима в силикатных расплавах и способствует образова-

нию сульфидных глобулей, селекционирующих золото из расплава.

Распространение восстановленных интрузивно-связанных золоторудных систем и их особенности

Восстановленные интрузивно-связанные золоторудные системы распространены во многих странах и регионах. В Канаде к этому типу месторождений относятся Дублин Галч, Шилайт Доум, Клиа Крик, локализующиеся в пределах золотоносного пояса Томбстоун [2–4]. В США известны восстановленные золоторудные системы Форт Нокс [5]. Специфичны восстановленные золоторудные системы восточной Австралии – Тимбарра и Кидстон [6]. В Таджикистане к восстановленным золоторудным системам относится месторождение Джилау [7]. В Енисейском крае типично восстановленной комплексной Au-W-Mo-Pt-Pd системой является полихронное Олимпиадинское месторождение; в Якутии эти системы проявлены в Нежданинском крупном золоторудном месторождении; в Иркутском регионе – в Сухоложском гигантском золоторудном объекте, а также в Бакырчикском районе Западной Калбы [8]. На Урале к этому классу ме-

сторождений относится Воронцовское полихронное золото-платино-редкометалльное месторождение [8]. В Горном Алтае к этому типу относится несколько золоторудных магмо-рудно-метасоматических систем (МРМС): Караминская, Баранчинская, Базлинская, Чойская [9, 10].

Редуцированные золоторудные системы формируют месторождения жильного золото-сульфидно-кварцевого, штокверкового и скарнового типов [8, 11]. Высокая восстановленность прослеживается на всех этапах становления таких месторождений – от магматогенных флюидов рудогенерирующих магматитов до гидротермальных растворов продуктивных ассоциаций [9]. Характерные признаки восстановленных интрузивно-связанных золоторудных систем сведены в табл. 1.

На диаграмме (рисунок) восстановленные интрузивно-связанные золоторудные системы занимают поле I-типа гранитов сильно контаминированного и редуцированного (восстановленного). Как правило, рудогенерирующие гранитоиды образуют небольшие по размерам тела от 2–4 до

3–6 км, сопровождаемые роями даек различного состава от долеритов до гранит-порфиоров. Нередко в дайковой фации присутствуют лампрофиры разного состава: спессартиты, керсантиты, одиниты, вогезиты, минетты, являющиеся прямыми показателями астеносферного происхождения [1, 8]. Интрузивы и дайки являются лишь верхними частями протяжённых по вертикали магмо-рудно-метасоматических систем, имеющих глубинное происхождение. Об этом свидетельствуют мощно проявленные зоны роговиков и метасоматитов, сопровождающих малые по размерам интрузивные тела.

Факторы глубинности магмо-рудно-метасоматических систем целиком определяются импактным выбросом в литосферу крупнообъемных ингредиентов магмо-флюидо-динамических систем, генерированных глубокими сферами Земли (астеносферой и более глубокими горизонтами верхней мантии). Такой сценарий влияния литосферного контроля формирования крупных провинций, вмещающих гигантские месторождения золота

Таблица 1. Характерные признаки некоторых восстановленных интрузивно связанных золоторудных систем по [2, 8–11]

Характерные Признаки	Мурунтау (Узбекистан)	Олимпиадинское (Енисейский край)	Дублин Галч (Юкон)	Форт Нокс (Аляска)	Чойское (Горный Алтай)
Геодинамическая обстановка магмо- и рудогенерации	Плюмтектоника	Плюмтектоника	Постколлизонная	Постколлизонная	Плюмтектоника
Петрогенетический тип рудогенерирующих гранитоидов	I-SCR (I-тип сильно-контаминированный и редуцированный)	I-SCR (I-тип сильно-контаминированный и редуцированный)	I-SCR (I-тип сильно-контаминированный и редуцированный)	I-SCR (I-тип сильно-контаминированный и редуцированный)	I-SCR (I-тип сильно-контаминированный и редуцированный)
Петрогеохимические особенности рудогенерирующих гранитоидов	Метаалюминиевые, сильно редуцированные	Метаалюминиевые, сильно редуцированные	Метаалюминиевые, сильно умеренно редуцированные	Метаалюминиевые, сильно умеренно редуцированные	Метаалюминиевые, сильно редуцированные
Соотношения изотопов стронция и неодима	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - (0,70618 - 0,70786)$; $\epsilon\text{Nd} - (+1,5) - (+6,3)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - (0,70683 - 0,70816)$; $\epsilon\text{Nd} - (+1,3) - (+7,3)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - >0,71$; $\epsilon\text{Nd} - (-7) - (-15)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - >0,71$; $\epsilon\text{Nd} - (-7) - (-15)$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - (0,70550 - 0,70812)$; $\epsilon\text{Nd} - (+1,2) - (+5,1)$
Параметры флюидного режима рудогенерирующего магматизма	Высокие фугитивности CO_2 , HCl, парциальные давления H_2O , CO_2 , HCl	Высокие фугитивности CO_2 , HCl, парциальные давления H_2O , CO_2 , HCl	Высокие фугитивности парциальные давления H_2O , CO_2	Высокие фугитивности парциальные давления H_2O , CO_2	Высокие фугитивности CO_2 , HCl, парциальные давления H_2O , CO , HCl
Уровни становления рудогенерирующих массивов и мощности роговиков	10...15 км; Поле роговиков более 4 км	8...10 км; Поле роговиков до 2 км	5...9 км; поле роговиков до 2 км	5...9 км; поле роговиков до 2 км	5...9 км; поле роговиков до 1,5 км
Особенности ранних ассоциаций рудных тел	Восстановленные существенно пирит-пирротиновые агрегаты с арсенипитом				Восстановленные диопсидовые скарны (без граната)
Состав дистальных поздних фаз оруденения	Ag- обогащённые Pb-Zn кварцевые жилы	Ag- обогащённые Pb-Zn кварцевые жилы	Ag- обогащённые Pb-Zn кварцевые жилы	Ag- обогащённые Pb-Zn кварцевые жилы	Ag- обогащённые Pb-Zn кварцевые жилы
Геохимические особенности руд	Повышенные концентрации W, Bi, Te, As, Pt, Pd	Повышенные концентрации W, Bi, Te, As, Hg, Pt, Pd	Повышенные концентрации W, Bi, Te, As	Повышенные концентрации W, Bi, Te, As	Повышенные концентрации W, Bi, Te, As, Pt, Pd
Особенности состава газовой-жидких включений в рудном кварце	Повышенные концентрации CO_2 , CH_4 , N_2 , C, H_2 , HCl	Повышенные концентрации CO_2 , CH_4 , N_2 , C, H_2 , HCl	Повышенные концентрации CO_2 , CH_4 , N_2 , C, H_2	Повышенные концентрации CO_2 , CH_4 , N_2 , C, H_2	Повышенные концентрации CO_2 , CH_4 , N_2 , C, H_2 , HCl
Вариации $\delta^{34}\text{S}$, ‰	(+0,5) до (+3,6) ‰	(-0,5) до (+4,2) ‰	до (-3) ‰	до (-3) ‰	(-0,5) до (+0,3) ‰

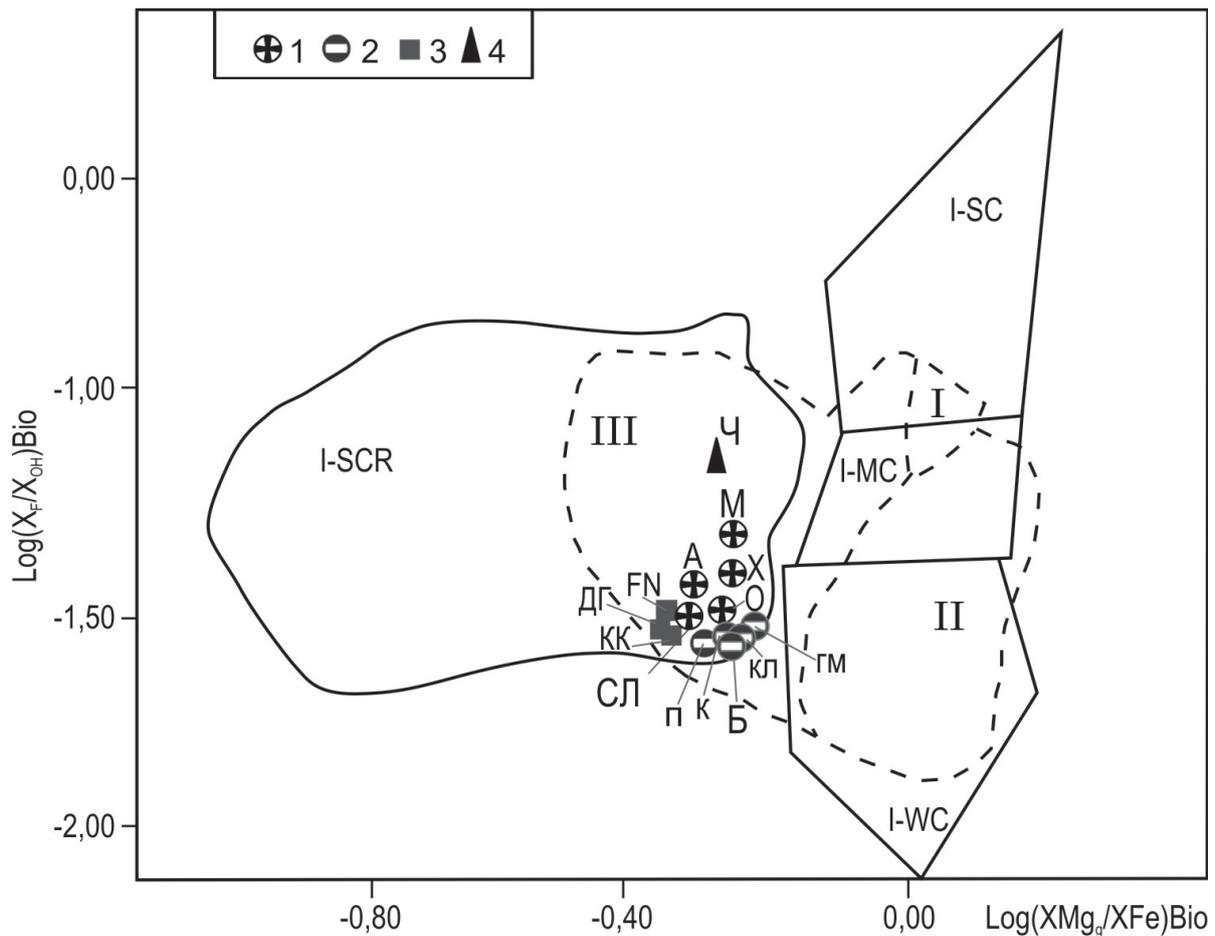


Рисунок. Диаграмма $\lg(X_{Mg}/X_{Fe}) - \lg(X_F/X_{OH})$ в биотитах золотогенерирующих гранитоидов. Петрогенетические типы гранитоидов по [12]: I-WC – слабо загрязненные, I-MC – умеренно-загрязненные, I-SC – сильно загрязненные, I-SCR – сильно загрязненные и редуцированные. Поля золоторудных систем: I – мелких месторождений, II – средних и крупных месторождений, III – гигантских месторождений. Золото-черносланцевые месторождения с повышенными вольфрамом и платиноидами, связанные с сильно загрязненными и редуцированными гранитоидами: 1 – М – Мурунтау, Х – Хоумстейк, А – Ашанти, СЛ – Сухой Лог, О – Олимпиада; 2 – золото-кварцевые месторождения с повышенным вольфрамом, связанные с редуцированными гранитоидами: ГМ – Голден Майл, КЛ – Кирклэнд Лэйк, К – Колар, П – Поркьюпайн, Б – Берёзовское; 3 – золото-сульфидно-кварцевые месторождения с вольфрамом: ДГ – Дублин Галч, КК – Клиа Крик, FN – Форт Нокс; 4 – золото-скарновые месторождения с повышенным вольфрамом: Ч – Чойское

(Хоумстейк, Мурунтау, Ашанти, Тэлфер, Голден Майл, Сухой Лог и другие) наиболее удачно обрисован в работе [13]. Все месторождения золота указанные авторы отнесли к орогенному типу. Вероятно, не все объекты следует рассматривать как чисто орогенными, так как многие из них формировались в период активного функционирования плюмов, порождавших рудогенерирующие магматиты, несущие изотопные метки и геохимические признаки верхней мантии, а гранитоиды нередко отличаются анорогенными характеристиками.

Как считают многие из указанных авторов основными критериями формирования таких провинций (типа зеленокаменного пояса Абитибии, провинции Восточного Голдфилда и других) являются нестабильность астеносферы, которая порождает мощную инъекцию тепла и флюидного потока, которые обеспечивают энергетический источ-

ник, создающий гигантские месторождения золота. По данным Ф.А. Летникова, астеносферный слой имеет в основном флюидную природу, отступление его верхней границы обусловлено дегазацией и «осушением» мантийного субстрата за счет выноса флюидных и ряда петрогенных компонентов в верхние горизонты литосферы [14].

Это одна сторона функционирования астеносферы. Другая, не менее важная, рудообразующая сторона, целиком определяющая мощность флюидных потоков, их составом и агрессивностью в отношении экстракции рудообразующих элементов. Такие флюидные импактные выбросы носили резко восстановленный характер. Следует учитывать и аномальные давления, возникающие в этих глубинных флюидах при проникновении в астеносферу разломов. Считается, что в океанической литосфере на границе с астеносферой (40...50 км)

давление составляло 13,2...20 кбар. Для зрелой архейской литосферы в случае формирования зеленокаменного пояса Абитибид на глубинах ~ 180...200 км оно могло достигать и 59...66 кбар [14].

Параметры флюидного режима конкретных объектов весьма разнообразны, но характерной чертой всех является высокая восстановленность магматогенных флюидов, выявляемая по коэффициенту восстановленности. Примером может служить супергигантская МРМС Мурунтау в Центральных Кызылкумах Узбекистана. Зоны разломов в рудном поле Мурунтау контролируют размещение магматических пород, представленных дайками, сгруппированными в 5 пучков, ориентированными в С-В и субширотном направлениях. Состав даек: сферолит-порфиры, монзонит- и сиенит-порфиры, диоритовые порфириты, керсантиты, спессартиты, гранодиорит-порфиры, микродиориты. Доминирующую часть даек большинство исследователей связывает со становлением сардаринского гранитоидного комплекса (C_3-P_1), хотя некоторые дайковые серии имеют и другие возраста. Сверхглубокой скважиной СГ-10 вскрыты гранитоиды этого же комплекса на глубинах свыше 3,4 км. Ореол ороговикования во вмещающих породах бесапанской свиты обязан интрузии «скрытого» массива и по вертикали превышает 4 км.

По нашим определениям гранодиориты Сардаринского массива и дайки гранодиорит-порфиров характеризуются очень высокими давлениями (9–6 МПа) (по соотношениям Al^{VI} к Al^{IV} в биотитах) и температурами (890...900 °С) при кристаллизации, что отвечает условиям абиссальной фации. Во флюидном режиме гранитоидов отмечены высокие значения фугитивностей и парциальных давлений HCl , H_2O и CO_2 (табл. 2). Флюиды характеризовались высокой восстановленностью ($K_{вос}$). Магматогенные флюиды имели низкие летучести кислорода и повышенные значения восстановленности флюидов в дайковых образованиях, а также заметно были обогащены водой, углекислотой и хлором (табл. 2).

Характерны более высокие значения восстановленности флюидов и концентрации фтора (M_{HF}) в постгранитных дайках, особенно в лампрофирах, указывающие на подток более глубоких трансмагматических флюидов при их формировании. Возможно, что этот источник был глубже астеносферного, так как формирование комплексной рудной системы Мурунтау происходило в постколлизивной обстановке, инициированной плюмтектоникой [1]. Важно также и то, что в магматогенной части Мурунтау в его дайковой фации наблюдается близость к шошонитовой серии магматизма (SH) с образованием монзонитовых и сиенитовых разновидностей пород.

Весьма своеобразной является восстановленная золоторудная система Бакырчикского месторождения. Ранее нами было показано, что плагиограниты Бакырчикской МРМС относятся к адакитовому (AD) типу [16]. Анализ приведенных данных пока-

зывает, что температурный режим формирования гранитоидов был высок и варьировал от 805 до 910 °С. Все без исключения проанализированные биотиты характеризуются аномальными составами и параметрами флюидного режима, характерного для золотогенерирующих гранитоидов [9]. В составе биотитов Меридиональной дайки месторождения Бакырчик наблюдается значительное увеличение всех летучих компонентов (F, Cl, H_2O , P_2O_5 и других), что отражает основные параметры флюидного режима магматитов.

Таблица 2. Некоторые параметры флюидного режима дифференциатов МРМС Мурунтау

Параметры флюидного режима	Гранодиориты Сардаринского массива	Дайки		
		сиенит-порфиров	гранодиорит-порфиров	спессартитов
$T, ^\circ C$	900	890	900	910
$f O_2$	-12,4	-13,6	-14,3	-14,8
$f H_2O$	3225	3116	3872	3125
$p H_2O$	2820	2610	3550	2810
$p CO_2$	2950	2390	3728	4245
$lg fHF / lg fHCl$	-2,25	-2,14	-1,55	-1,2
$K_{вос}$	0,71	0,77	0,85	0,88
y	186,3	188,4	190,8	191,2
M_{HF}	0,023	0,084	0,112	0,136

Примечание: $T, ^\circ C$ – температура кристаллизации пород; $f O_2$, $f H_2O$ – фугитивности кислорода и воды, соответственно, в 10^2 кПа; $p H_2O$, $p CO_2$ – парциальные давления воды и углекислоты, соответственно, в 102 кПа; $K_{вос}$ – коэффициент восстановленности флюидов по Ф.А. Летникову; y – потенциал ионизации биотитов по В. А. Жарикову; M_{HF} – концентрации плавиковой кислоты во флюидах в моль/дм³ по [15]

Обращает на себя внимание резкое увеличение значений таких параметров, как парциальные давления углекислоты и воды, а также фугитивностей HCl и HF (табл. 3) в Меридиональной дайке месторождения Бакырчик. На фоне более высоких значений коэффициента восстановленности флюидов для Бакырчикских плагиогранитов характерны более высокие содержания плавиковой кислоты во флюидах и низкие значения потенциала ионизации биотитов, указывающего на снижение кислотности среды минералообразования при формировании более поздних даек, с которыми парагенетически и пространственно связывается золотое оруденение. Такая картина увеличения роли летучих компонентов в дайковых образованиях интерпретируется открытостью системы (глубинного очага) по фтору и подтоком более глубоких мантийных высоко восстановленных флюидов на момент отделения более поздних дайковых дериватов из глубинного очага [15].

Таблица 3. Параметры флюидного режима адакитовых гранитоидов Калбы

Температуры кристаллизации и параметры флюидного режима	1	2	3	4	5	6	7	8
$T, ^\circ\text{C}$	810	805	830	820	870	860	910	905
$\lg f \text{O}_2$	-14,9	-4,8	-15,1	-14,87	-14,65	-9,7	-13,2	-13,1
$f \text{H}_2\text{O}$	1170	1230	1360	1270	1350	1400	1570	1550
$p \text{H}_2\text{O}$	1550	1580	1430	1310	1420	1440	1620	1680
$p \text{CO}_2$	1490	1510	1570	1460	1470	1490	1830	1900
$f \text{HF}$	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,10	0,33	0,31
$f \text{HCl}$	34,1	34,3	39,7	37,7	37,8	36,6	45,9	46,2
M_{HF}	0,124	0,11	0,137	0,08	0,07	0,06	0,43	0,42
k	0,67	0,23	0,67	0,69	0,68	0,41	0,77	0,78
y	182,3	183,1	181,6	182,2	183,1	183,3	180,3	180,1

Примечание. Плагิโอграниты: 1 – Борисовского плутона; 2 – Кунушского массива; 3, 4 – Жиландинского массива; 5, 6 – Точкинского массива; плагิโอгранит-порфиры: 7, 8 – Меридиональной дайки месторождения Бакырчик. $f \text{HF}$ – фугитивность плавиковой кислоты; $f \text{HCl}$ – фугитивность соляной кислоты; остальные обозначения как в табл. 2

Значительно меньшими значениями основных параметров флюидного режима обладают магматиты Чойской МРМС. В отличие от Мурунтау и Бакырчика, она обладает и значительно меньшими запасами золота. Тем не менее, для магматогенных флюидов характерны повышенные фугитивности воды в дайковой серии пород и более высокие значения восстановленности флюидов, с которыми наблюдается тесная пространственная связь оруденения (табл. 4). В дайковой серии триасового возраста наблюдаются также повышенные значения парциальных давлений углекислоты и концентрации плавиковой кислоты во флюидах, что связано с подтоком на поздних фазах становления МРМС трансмагматических флюидов, связанных с функционированием Сибирского суперплюма.

Таблица 4. Некоторые параметры флюидного режима дифференциатов Чойской МРМС

Параметры флюидного режима	Гранодиориты Чойского массива	Дайки		
		Гранит-порфиоров	Гранодиорит-порфиоров	Керсантитов
$T, ^\circ\text{C}$	645	810	820	870
$f \text{O}_2$	-15,0	-14,0	-13,0	-12,5
$f \text{H}_2\text{O}$	0,47	1,2	1,25	0,9
$p \text{H}_2\text{O}$	0,56	0,9	0,8	1,4
$p \text{CO}_2$	0,55	2,7	3,1	3,6
$\lg f \text{HF} / \lg f \text{HCl}$	-2,7	-2,4	-2,1	-1,9
$P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{CO}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}}$	1,98	3,6	3,7	3,57
$K_{\text{вос}}$	0,55	0,56	0,57	0,58
M_{HF}	0,045	0,15	0,14	0,76

Примечание. $P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{CO}_2} / P_{\text{H}_2\text{O}}$ – сумма парциальных давлений воды и углекислоты к парциальному давлению воды во флюидах. Остальные обозначения те же, что в табл. 2

Восстановительная обстановка в анализируемых системах проявляется и в последующие этапы становления МРМС.

В случае *скарновых месторождений* золота ранние стадии представлены высокотемпературными (650 °C и выше) «безводными» диопсидовыми скарнами с плагиоклазом, которые иногда могут содержать шеелит. Следующий этап связан с кристаллизацией низкотемпературных (400...450 °C) «водных» скарновых ассоциаций с биотитом, цоизитом, актинолитом, тремолитом, содержащими сульфидные, теллуридные парагенезисы с золотом. Высокотемпературные сульфидные ассоциации чаще всего представлены пирротином и редким халькопиритом. А низкотемпературные ассоциации содержат арсенопирит, борнит с различными сульфидами Bi-Te-Sb-Pb-Au [8]. Характерной особенностью восстановленных скарнов является отсутствие в силикатных парагенезисах граната, что является определяющей чертой редуцированных скарнов [17].

Жильные золото-сульфидно-кварцевые месторождения, локализующиеся в гранитоидах, характеризуются присутствием в самых ранних высокотемпературных жилах щелочных полевых шпатов, слюд и шеелит-содержащих кварцевых жил с редкими сульфидами [8]. В таких ранних жилах золото может отсутствовать. В последующих более низкотемпературных, чаще всего параллельно расположенных жилах, может содержаться несколько процентов сульфидов (пирита, арсенопирита), основная масса золота и сплавы Au-Bi-Te. Последующие парагенезисы и отдельные самостоятельные жилы, более сульфидно обогатены, содержат арсенопирит и антимонит. Завершают в таких жильных системах жилы кварца с Ag-Pb-Zn парагенезисами, которые чаще всего составляют дистальные фации, иногда локализуясь не в гранитах, а в роговиковом ореоле. Эти дистальные серебро-обогащённые кварц-карбонатные жилы являются характерной чертой серебряного «Кено Хилл» рудного района, подчёркивающего региональную зональность в пределах золотоносного пояса Канады – Томбстоун [2].

Минералогия интрузивно связанных жильных месторождений, таких как Дублин Галч и Форт Нокс, охватывает в жилах массивный полупрозрачный кварц или белый кварц, белый калиевый полевой шпат, слюду, тяготеющие, как правило, к зальбандам жил. Содержания сульфидов в жилах варьируют от 0,1 % (по объёму) до 2 %, где доминируют пирит, пирротин, арсенопирит с аксессуарным шеелитом и бисмутитом. Арсенопирит более обилен во вмещающих породах. Аксессуарный молибденит встречается локально в тонких прожилках; халькопирит, сфалерит и галенит – редки.

Самородные Bi и V-содержащие сульфосоли встречаются в поздних парагенезисах и являются типичными сплавами с Te, Pb, Sb, Au. Теллуробисмутит, мальдонит, тетрадимит, самородный висмут, буланжерит и Bi-Pb сульфосоли хорошо предста-

влены в рудах месторождения Форт Нокс [18]. В рудах месторождения Дублин Галч приблизительно 40 % золота встречается в виде комплексных сростаний с самородным висмутом, но также входит в состав Bi-Pb сульфосолей с галенитом и молибденитом [19], и с бисмутитом, тетрадимитом, теллуробисмутитом [2]. Главный парагенез очень высокопробного свободного золота и в самородном висмуте или висмутсодержащих минералах указывает на то, что золото осаждалось из ранних высокотемпературных комплексных сплавов при охлаждении растворов.

Главной геохимической отличительной особенностью восстановленных золоторудных систем от окисленных интрузивно-связанных является ассоциация золота с вольфрамом и отсутствие аномалий меди. Вольфрам в скарновых месторождениях (Рэй Галч вольфрамовый скарн на Дублин Галч, Чойское скарновое золото-теллуридное месторождение Горного Алтая) пространственно обособлен от золота. Как правило, золото на таких объектах накладывается в составе сложных минеральных прожилков на вольфрамовые скарны.

На месторождении Форт Нокс золото сильно коррелируется с висмутом и теллуrom. Слабее наблюдается корреляция золота с W, Mo, Sb. Золото не коррелируется с мышьяком.

Вертикальная геохимическая зональность на месторождениях жильного типа сводится к увеличению роли вольфрама и молибдена с глубиной. На месторождении Форт Нокс с глубиной заметно уменьшаются концентрации золота и увеличиваются – W и Mo.

Большинство Au-W-Bi-Te жильных месторождений содержит ранние высокотемпературные (300...380 °C), CO₂ – обогащенные (5...15 %), низко солёные (2...6 вес. % NaCl в эквиваленте) газожидкие включения в кварце с восстановленными формами: CH₄ и N₂. В последующих ассоциациях флюиды становились более низкотемпературными (250...280 °C, иногда до 160 °C). Выделяются не смешивающиеся газожидкие включения в кварцах: а – низко солёные (0,2 вес. % NaCl в эквиваленте) и б – высоко солёные (6...15 вес. % NaCl в эквиваленте) существенно водные флюиды со значительно меньшими концентрациями CO₂, которые формировали As-, Sb-, и Ag-Pb-Zn жилы.

В газожидких включениях рудных кварцев золото-черносланцевых восстановленных систем в повышенных количествах отмечены CO₂, CH₄, N₂, C, H₂, HCl (табл. 1).

Стабильные изотопы кислорода и серы в жильных Au-W-Bi-Te месторождениях также своеобразны. Значения δ¹⁸O кварца ранжируются от 14 до 16 ‰. Эти значения слабо утяжелены относительно кварца вмещающих гранитов (11...13 ‰) и близки к значениям вмещающих осадочных пород (13...16 ‰).

Соотношения изотопов серы для жильных Au-W-Bi-Te месторождений варьируют от 0 до –3 ‰, в скарновых системах – от 2 до –7 ‰, от –0,5 до +4,2 ‰ в арсенопиритах золото-черносланцевых месторождений (табл. 1) и от –9 до –11 ‰ для Ag-Pb-Zn для жил дистальных ореолов зональных Au-W-Bi-Te жильных месторождений. Значения δ³²S в большинстве случаев близки к меткам неконтаминированных мантийных магм.

Выводы

1. Рудогенерирующие магматиты восстановленных интрузивно связанных гидротермально-метасоматических золоторудных систем следует отнести к трём петрогенетическим типам: сильно контаминированному и редуцированному, адакитовому (AD) и шошонитовому (SH).
2. Природные восстановленные системы подтверждают экспериментальные данные о предпочтительной редуцированной обстановке для экстракции золота из фельзических расплавов, их переносе хлоридными и гидросульфидными комплексами в составе магматогенных флюидов к местам рудолокализации.
3. Восстановительная среда прадрудных этапов сохраняется для скарнового этапа, где формируются без гранатовые диопсидовые скарны с плагиоклазом.
4. На гидротермальном этапе восстановительная обстановка подтверждается присутствием таких компонентов, как CH₄, N₂, CO₂, C, H₂, C₂H₂, HCl и других [8, 10].
5. Восстановленные МРМС включают наиболее крупные по запасам металла золоторудные объекты мирового класса. Они характеризуются комплексностью руд, где помимо золота присутствуют W, Bi, Te, Pt, Pd.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И., Гусев А.А. Шошонитовые гранитоиды: петрология, геохимия, флюидный режим, рудоносность. – М.: Изд-во РАН, 2011. – 125 с.
2. Hitchins A.C., Orsich C.N. The Eagle zone gold-tungsten sheeted vein porphyry deposit and related mineralization, Dublin Gulch, Yukon Territory // Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume. – 1995. – V. 46. – № 6. – P. 803–810.
3. Mair J.L., Hart C.J.R., Stephens J. Deformation history of the northwestern Selwyn Basin, Yukon, Canada: Implications for orogen evolution and mid-Cretaceous magmatism // Geological Society of America Bulletin. – 2006. – V. 118. – № 2. – P. 304–323.
4. Marsh E.E., Goldfarb R.J., Hart C.J.R., Johnson C.A. Geology and geochemistry of the Clear Creek intrusion-related gold occurrences, Tintina gold province, Yukon, Canada // Canadian Journal of Earth Sciences. – 2003. – V. 40. – № 5. – P. 681–699.
5. Bakke A. The Fort Knox «porphyry» gold deposit: Structurally controlled stockwork and shear quartz vein, sulphide-poor mineralization hosted by Late Cretaceous pluton, east-central Alaska // Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume. – 1995. – V. 46. – № 6. – P. 795–802.
6. Mustard R. Granite-hosted gold mineralization at Timbarra, northern New South Wales // Mineralium Deposita. – 2001. – V. 36. – № 4. – P. 542–562.

7. Cole A., Wilkinson J.J., Halls C., Serenko T.J. Geological characteristics, tectonic setting, and preliminary interpretations of the Jilau gold-quartz vein deposit, Tajikistan // *Mineralium Deposita*. – 2000. – V. 35. – № 5. – P. 600–618.
8. Коробейников А.Ф. Комплексные месторождения благородных и редких металлов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 327 с.
9. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. – Томск: Изд-во СТТ, 2003. – 308 с.
10. Гусев А.И., Гусев Н.И. Петролого-геохимические критерии и флюидный режим гигантских магмо-рудно-метасоматических золоторудных систем // *Современные наукоёмкие технологии*. – 2011. – № 4. – С. 12–16.
11. Hart C.J.R. Reduced Intrusion-Related Gold Systems // *Econ. Geol.* – 2006. – V. 101. – № 7. – P. 1415–1427.
12. Ague I.I., Brimhall G.H. Regional variations in bulk chemistry, mineralogy, and the compositions of mafic and accessory minerals in the batholiths of California // *Bull. Geol. Sci. Amer.* – 1988. – V. 100. – № 6. – P. 891–911.
13. Bierlein F.P., Groves D.I., Goldfarb R.J., Dube B. Lithospheric controls on the formation of provinces hosting giant orogenic gold deposits // *Miner. Deposita*. – 2006. – V. 40. – № 7. – P. 874–886.
14. Летников Ф.Л. Флюидные фазы континентальной литосферы и проблемы рудообразования // *Вестник ОГГГН РАН*. – 1999. – Т. 1. – № 4 (10). – С. 5–20.
15. Аксюк А.М. Экспериментально обоснованные геофториметры и режим фтора в гранитных флюидах // *Петрология*. – 2002. – Т. 10. – № 6. – С. 630–644.
16. Коробейников А.Ф., Гусев А.И., Русанов Г.Г. Адакитовые гранитоиды Калбы: петрология и рудоносность // *Известия Томского политехнического университета*. – 2010. – Т. 316. – № 1. – С. 31–38.
17. Meinert L.D. A review of skarns that contain gold // *Mineralized porphyry/skarn systems: Mineralogical Association of Canada, Short Course Series*. – 1998. – V. 26. – P. 359–414.
18. McCoy D., Newberry R.J., Layer P.W., et al. Plutonic-related gold deposits of interior Alaska // *Economic Geology, Monograph 9*. – 1997. – P. 191–241.
19. Maloof T.L., Baker T., Thompson J.F.H. The Dublin Gulch intrusion-hosted deposit, Tombstone Plutonic Suite, Yukon Territory, Canada // *Mineralium Deposita*. – 2001. – V. 36. – № 4. – P. 583–593.

Поступила 02.02.2012 г.

УДК 553.411.071.242.4+550.4

ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ ОКОЛОРУДНОГО МЕТАСОМАТИЗМА В ВЕРНИНСКОМ ЗОЛОТОРУДНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЛЕНСКИЙ РАЙОН)

И.В. Кучеренко, Р.Ю. Гаврилов, В.Г. Мартыненко*, А.В. Верхозин**

Томский политехнический университет

E-mail: Kucherenko.o@sibmail.com

*ОАО «Первенец», г. Бодайбо

**ООО «Золото Евразии», г. Москва

Приведены и обсуждаются материалы, раскрывающие минеральный состав и зональность апочерносланцевого околорудного (рудовмещающего) метасоматического ореола Вернинского месторождения. Обосновывается принадлежность метасоматического ореола к сочетанию пропилитовой и березитовой метасоматических формаций. Распределение Au, Ag, Hg подчиняется минеральной зональности метасоматического ореола. Структура метасоматического и геохимического ореолов месторождения вписывается в типовую универсальную, приложимую к черносланцевому и несланцевому рудовмещающему субстрату, схему минерало-геохимической зональности околорудных ореолов в мезотермальных месторождениях золота как вещественное выражение геолого-генетической однородности месторождений той и другой совокупности.

Ключевые слова:

Вернинское золотое месторождение, черные сланцы, петрологические, геохимические исследования, проблемные вопросы.

Key words:

Verninsoje gold deposit, black shales rocks, petrologic, geochemic research, problem questions.

1. Постановка задачи

Ранее [1, 2] обращено внимание на парадоксы, которые заключаются в том, что по прошествии пятидесяти лет активных исследований не достигнуто разделяемого всеми адекватного реальной ситуации понимания минерало-петрохимической сущности и геологической обусловленности околорудных изменений черных сланцев, условий формирования их металлоносности, залежей и минерализованных зон прожилково-вкрапленных зо-

лото-сульфидно-кварцевых руд, в частности, в крупнейшем месторождении России Сухой Лог.

На примере Сухого Лога показано, как раннее представление шестидесятих-семидесятих годов прошлого века о листовит-березитовом профиле околорудных изменений сланцев, разработанное отнюдь не дилетантами, но профессионалами С.Д. Шером, В.Н. Шаровым и другими на основе детального изучения минералогии метасоматитов и расчетов баланса химических составов исходных