

УДК 552.161:550.42

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЧЕРТЫ УЛЬТРАМЕТАМОРФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧАГОВО-КУПОЛЬНОГО ТИПА

И.В. Кучеренко

Томский политехнический университет
E-mail: lev@tpu.ru

Показано и обсуждается распределение петрогенных и рудогенных (Au, Ag, Hg) химических элементов в метаморфических зонах Кедровской очагово-купольной постройки в Северном Забайкалье. Сделан вывод об отсутствии существенной миграции вещества в процессе локального очагово-купольного ультраметаморфизма.

Введение

Проблема «поведения» металлов в процессах регионального зонального метаморфизма высоких и низких фаций инициирована обсуждением другой проблемы — источников рудного вещества при образовании гидротермальных месторождений урана, золота, сурьмы и некоторых других металлов в мощных углеродистых терригенных толщах крупных осадочных бассейнов. За прошедшие с конца пятидесятих годов прошлого века десятилетия в приложении к золотым месторождениям оформилось два варианта ее решения.

Представление о выносе золота из высокотемпературных зон в низкотемпературные с последующей фиксацией металла в месторождениях разрабатывали и разрабатывают многие специалисты [1–13 и др.]. Противоположные выводы об инертности металлов в ареалах зонального метаморфизма приведены в [14–19]. Н.А. Озерова констатирует, что даже такой легкоподвижный металл как ртуть — постоянный спутник золота в месторождениях не мигрирует из высокотемпературных зон метаморфизма [20]. Таким образом, до сего времени сохраняется ситуация неопределенности. При отсутствии критериев оценки достоверности противоположных результатов, например, точности и достоверности анализов, приведенных в некоторых опубликованных работах, нельзя исключать и того, что природа многообразна в своих проявлениях и в данном случае справедлив каждый вариант решения.

Вероятно, не все факторы, определявшие сотни миллионов или миллиарды лет назад миграцию или инертность металлов в условиях зонального регионального метаморфизма, можно учесть в эксперименте или при моделировании по той причине,

что некоторые неизвестны или не воспроизводимы, например, — фактор геологического времени. Поэтому, при постановке эксперимента или определении исходных условий моделирования неизбежны допуски, адекватность которых реальному природному процессу в некоторых аспектах очевидна. Отсюда ясно, что результаты эксперимента или моделирования не всегда могут служить критерием надежности получаемых выводов.

В поисках решения проблемы наряду с совершенствованием условий эксперимента остается актуальным дальнейшее накопление эмпирических материалов. Для достижения обозначенной цели пригодны относительно молодые зрелые очагово-купольные постройки при условии доступности всего разреза метаморфического ореола, в том числе того субстрата, за счет которого образованы купола в режиме локального зонального ультраметаморфизма. В этом случае существует возможность отслеживания концентраций петро- и рудогенных элементов в породах метаморфических зон от обрамления куполов до ядерных, выполненных магматитами их частей. На всех этапах этой работы может быть оценена достоверность результатов.

Указанным условиям удовлетворяет Кедровская зрелая очагово-купольная постройка, материалы изучения которой в обсуждаемом аспекте приведены в статье.

Поскольку геология Кедровского купола описана ранее в ряде работ автора, например, в [21], отметим главное.

Кедровский купол находится в Южно-Муйском хребте Северного Забайкалья в 10...20 км к западу от устья р. Тулдунь, впадающей в р. Витим в ее среднем течении. Его западный изученный сател-

лит расположен в центральной части одноименного золоторудного месторождения, контролируется Тулдуньской зоной глубинных разломов в восточном обрамлении Муйского выступа архейского фундамента и сложен в ядре штокообразной залежью гранодиоритов и кварцевых диоритов, занимающей площадь 3,5×2,5 км, в обрамлении ультраметаморфических пород и образован 335±5 млн л [21], как и весь купол, в мощной протерозойской кедровской толще (свите) углеродистых песчано-алевросланцев, чередующихся в разрезе с пластами мраморизованных известняков. Залежь падает согласно стратификации толщи на восток под умеренными углами. В непрерывных скальных обнажениях широтных бортов р. Тулдунь, руч. Пинегинского (10 км к северу) можно видеть постепенные переходы сланцев через огнейсованные сланцы в гнейсы и далее в мигматиты с постепенно увеличивающимся в направлении к магматическому ядру объемом лейкосомы.

1. Минералого-химический состав горных пород в минеральных зонах Кедровского купола

Углеродистые двуслюдяные, метаморфизованные на уровне мусковит-биотитового парагенезиса полевошпат-кварцевые песчано-алевросланцы кедровской свиты имеют темно-серый до черного цвет, сланцеватую текстуру, разнозернистую, от крупнозернистой алевритовой до мелкозернистой песчанистой структуру. Сланцеватость согласна слоистости. Унаследовавшая слоичатость пород полосчатость обусловлена чередованием тонких (доли мм) полосок, сложенных полевошпат-кварцевым и слюдястым агрегатами с ориентировкой чешуек биотита вдоль сланцеватости.

Объем обломочной фракции варьирует в широких пределах, цемент перекристаллизован, приобрел лепидогранобластовую структуру и реконструируется как базальный или соприкосновения. Обломочный материал с периферии зерен иногда несет лишь слабые следы растворения и перекристаллизации, так что обломки сохранили основные черты своей морфологии – преимущественно окатанные, реже угловатые формы.

В обломочной фракции и цементе участвуют альбит – олигоклаз до андезина (до 50 об. %), кварц (до 50 об. %) и бурый биотит (до 20 об. %) с примесью пластинок равновесного с биотитом мусковита, кристаллов микроклина, бледно-зеленого турмалина, каплевидных и чешуйчатых выделений графита, с участием обломков магнетита, циркона, апатита.

Таким образом, породы представляют собой метаморфизованные (биотит, мусковит, турмалин) аркозовые песчаники и алевролиты с сохранившимися элементами структуры осадочных пород.

В области постепенного перехода в гнейсы породы теряют облик «нормальных» углеродистых сланцев и приобретают более массивную текстуру. Обломочная структура осадочных пород все более трансформируется в лепидогранобластовую вследствие

собирающей перекристаллизации, укрупнения и образования новых минералов высокотемпературного парагенезиса, включающего микроклин, диопсид (+2V=60°, C:Ng=42°, оптич. знак +, Ng=1,714, Np=1,682), альмандин (1,827<N<1,834) в сростании с переменным количеством буровато-зеленого биотита, мусковита, кварца, олигоклаза-андезина (№ 29, 31, 45) с примесью сфена, графита, апатита, циркона, магнетита. Аналогичные строение и состав приобретают «нормальные» гнейсы и образованные за счет известняков кальцифиры, в которых диопсид диагностируется по следующим кристаллооптическим константам: +2V=60°, C:Ng=38°, оптич. знак +, Ng=1,718, Np=1,686. Содержание кальцита достигает 50 об. %. Текстура гнейсов отличается сложностью рисунка, напоминающего микроскладчатые формы, и подчеркивает разные количественные соотношения меланократового субстрата гнейсов и лейкократового субстрата мигматитовой выплавки вплоть до темных мигматитов, которые постепенно переходят в «нормальные» гранодиориты и кварцевые диориты ядра.

Кварцевые диориты и гранодиориты отличаются массивной текстурой и среднекристаллической (до 5 мм) гипидиоморфнозернистой структурой. В их составе преобладают олигоклаз-андезин (№№ 22...36, до 60 об. %), кварц (до 15 об. % в кварцевом диорите и до 20 об. % в гранодиорите), бурый биотит. Второстепенные минералы – зеленая роговая обманка (-2V=84°, C:Ng=16°, оптич. знак -, Ng=1,678, Np=1,654) с реликтами раннего авгита, калиевый полевой шпат (в гранодиоритах). Акцессории – апатит, магнетит, циркон, сфен.

Химические составы и петрохимические параметры пород приведены в табл. 1 и на рис. 1–3.

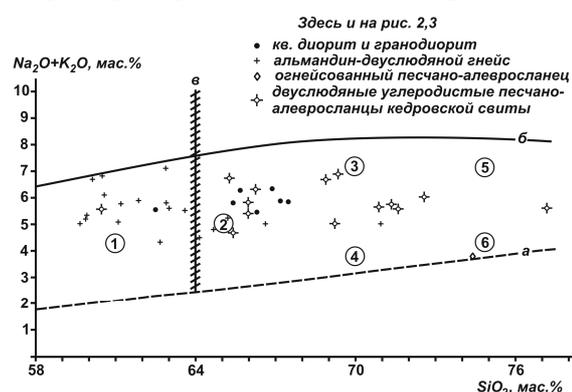


Рис. 1. Положение двуслюдяных углеродистых песчано-алевросланцев кедровской свиты, ультраметаморфитов и магматитов Кедровской очагово-купольной структуры на диаграмме $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$. Нижние границы распространения химических составов магматических пород (а), умеренно щелочных магматических пород (б); граница разделения магматических пород на группы по содержанию кремнезема с «полем неопределенности» (в). Области распространения видов магматических пород: 1) кварцевых диоритов, 2) гранодиоритов, 3) гранитов, 4) низкощелочных гранитов, 5) лейкогранитов, 6) низкощелочных лейкогранитов. Границы областей распространения химических составов магматических пород заимствованы из [22]

Таблица 1. Химические составы горных пород Кедровской зрелой очагово-купольной структуры и вмещающих ее двуслюдяных углеродистых песчано-алевросланцев кедровской свиты

№	Номер пробы	Содержание, мас. %														Σ
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	S сульфид.	CO ₂	CaO	MgO	FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	
1	C1-50,1	65,45	16,85	2,10	3,72	0,00	0,00	4,49	1,81	2,79	1,09	0,48	0,06	0,16	1,38	100,38
2	C1-55,1	67,24	16,05	2,00	3,92	0,02	0,23	4,07	1,71	3,08	0,61	0,41	0,07	0,14	0,42	99,97
3	C1-56,5	65,71	15,96	2,66	3,64	0,01	0,90	3,51	1,81	2,86	0,86	0,41	0,07	0,15	1,43	99,98
4	C1-57,0	66,94	16,32	3,00	3,36	0,00	0,72	2,38	1,71	1,98	0,70	0,41	0,06	0,14	1,92	99,64
5	C1-59,6	67,46	15,78	2,00	3,92	0,00	0,14	4,21	1,41	2,42	1,02	0,40	0,09	0,12	0,88	99,85
6	C1-82,0	66,32	16,85	1,66	3,82	0,01	0,18	3,93	1,61	2,49	1,35	0,44	0,08	0,14	0,82	99,70
7	КБ1-22	62,50	16,50	1,67	3,90	0,05	0,63	3,91	2,11	2,13	3,39	0,51	0,11	0,25	2,33	99,99
8	К-384	62,92	15,06	3,00	2,82	0,00	0,32	1,12	3,30	4,69	2,38	0,50	0,15	0,13	3,33	99,72
9	К-383	60,61	17,12	3,18	2,92	0,04	0,61	0,84	3,40	4,54	2,79	0,53	0,10	0,14	2,72	99,54
10	К-382	61,25	16,41	3,00	2,82	0,04	0,99	2,09	2,60	5,13	2,13	0,50	0,14	0,13	2,98	100,21
11	К-386	64,11	15,60	3,00	1,54	0,01	0,57	1,12	3,40	4,25	2,95	0,68	0,14	0,13	2,93	100,43
12	К-387	64,74	16,00	3,04	1,81	0,00	0,18	0,84	2,71	5,13	1,43	0,60	0,10	0,15	2,76	99,49
13	К-390	61,12	17,10	3,26	1,81	0,00	0,72	1,39	2,81	5,67	1,21	0,68	0,16	0,12	3,60	99,65
14	К-304	62,87	16,50	2,26	4,84	0,01	0,42	2,66	2,50	4,12	1,02	0,77	0,11	0,27	0,83	99,18
15	К-305	70,95	12,55	1,30	3,72	0,00	0,96	1,68	2,00	3,09	1,36	0,55	0,03	0,23	1,37	99,79
16	К-306	60,46	16,59	2,70	4,24	0,01	0,68	2,80	2,80	4,41	2,29	0,95	0,06	0,10	1,17	99,26
17	К-299	59,72	17,30	2,52	2,42	0,05	0,73	2,66	2,90	5,95	1,61	0,75	0,08	0,27	2,24	99,20
18	К-475	60,12	16,87	3,34	3,34	0,03	0,32	2,51	3,21	5,13	1,97	0,80	0,13	0,09	1,83	99,69
19	К-474	66,64	14,50	1,83	3,18	0,00	0,23	4,47	2,21	2,61	2,13	0,58	0,07	0,16	1,24	99,85
20	К-473	65,16	15,78	1,80	3,46	0,00	0,99	3,63	1,81	2,70	1,79	0,49	0,10	0,22	1,75	99,68
21	К-470	62,96	15,78	2,30	3,34	0,00	0,68	3,77	1,91	3,71	1,15	0,94	0,13	0,18	3,26	100,11
22	К-483	62,68	16,14	2,10	2,18	0,04	0,59	4,75	2,51	4,03	2,87	0,92	0,13	0,26	1,62	100,82
23	К-480	61,85	15,96	2,96	2,92	0,00	0,23	2,79	3,14	4,76	2,16	0,93	0,15	0,17	1,54	99,56
24	К-479	63,63	15,96	2,48	3,00	0,00	0,32	3,07	2,61	4,67	1,68	0,88	0,21	0,19	1,37	100,07
25	К-604	59,90	17,50	3,70	1,45	0,01	0,54	1,12	3,22	6,17	2,34	0,72	0,08	0,28	2,48	99,51
26	К-599	59,90	18,85	2,60	2,60	0,05	0,77	1,82	1,55	5,36	2,35	0,92	0,07	0,20	2,93	99,97
27	КП-20	74,52	10,75	2,79	0,79	0,50	0,00	0,67	0,73	1,45	1,47	0,34	0,04	0,05	5,83	99,93
28	К-508	72,56	13,81	3,10	2,86	0,00	0,09	0,79	1,21	2,02	1,59	0,41	0,05	0,40	1,54	100,43
29	К-507	69,35	13,99	4,10	2,76	0,00	0,09	0,67	1,45	3,04	1,73	0,46	0,06	0,41	2,27	100,38
30	К-506	68,92	14,16	4,18	2,48	0,01	0,40	0,67	1,45	2,67	1,82	0,45	0,05	0,26	2,24	99,76
31	К-505	71,36	12,55	3,00	2,66	0,04	0,66	1,01	1,37	2,39	2,13	0,36	0,06	0,28	0,88	98,75
32	К-504	71,61	14,34	2,70	3,20	0,00	0,22	0,56	1,13	1,93	1,53	0,38	0,04	0,39	1,64	99,67
33	К-402	77,26	12,73	0,64	4,96	0,00	0,18	0,84	0,30	1,42	0,66	0,31	0,05	0,03	0,35	99,73
34	К-157	60,53	16,14	2,30	3,34	0,00	0,22	2,13	2,74	3,96	3,59	0,69	0,13	0,19	3,07	99,03
35	К-159	70,91	13,81	1,40	4,30	0,01	0,44	1,80	1,61	1,29	1,76	0,34	0,06	0,40	1,71	99,84
36	К-162	69,27	13,27	2,48	2,50	0,00	0,22	1,23	2,02	3,68	1,66	0,45	0,11	0,39	1,68	98,96
37	К-164	66,05	14,70	1,90	3,50	0,00	0,35	2,47	1,29	3,40	2,61	0,60	0,14	0,41	1,77	99,19
38	К-176	65,30	15,79	3,80	2,90	0,00	0,31	0,79	1,94	3,40	2,61	0,51	0,05	0,33	1,95	99,68
39	К-177	66,33	15,60	3,80	2,50	0,00	0,62	1,12	1,94	3,04	3,01	0,50	0,06	0,24	1,85	100,61
40	К-178	65,96	15,06	2,86	2,90	0,00	0,35	1,12	2,02	3,31	3,87	0,50	0,09	0,43	2,18	100,65
41	К-184	65,41	15,06	2,76	2,00	0,00	0,92	1,23	2,66	4,60	1,60	0,45	0,06	0,43	2,74	99,92

Примечание. 1) Пробы: 1–7 – кварцевые диориты и гранодиориты центрального штока; 8–26 – обрамляющие шток магматических пород альмандин-двуслюдяные мигматиты и гнейсы; 27 – огнейсованный в области постепенного перехода ультраметаморфических пород в метаморфические сланцы углеродистый песчано-алевросланец; 28–41 – двуслюдяные углеродистые песчано-алевросланцы кедровской свиты (протерозой), вмещающие очагово-купольную постройку. 2) Все пробы горных пород отобраны в подзоне слабого изменения (не более 10 % новообразованных минералов) фронтальной зоны околорудного (рудовмещающего) метасоматического ореола Кедровского рудного поля. 3) Полные химические силикатные анализы горных пород выполнены в ЦЛ ПГО «Запсибгеология» (г. Новокузнецк) под руководством И.А. Дубровской

Сланцам и образованным за их счет гнейсам свойственны значительные вариации содержания кремнезема (рис. 1). Фигуративные точки составов этих пород лишь частично совмещены, но в основном образуют автономные поля. Напротив, фигуративные точки составов магматических пород укладываются в сравнительно компактную группу, по содержанию кремнезема занимая промежуточное положение между сланцами и гнейсами. Суммарная (общая) щелочность всех пород примерно

одинакова и отвечает средним изверженным породам нормального ряда.

На диаграмме (рис. 2) фигуративные точки всех пород располагаются сравнительно компактно, – породы относятся к калиево-натриевой петрохимической серии, но обладают умеренным индексом лейкократовости, в большинстве не превышающим 3. Поля сланцев и гнейсов совмещены, гранодиориты более обособлены в направлении увеличения лейкократовости.

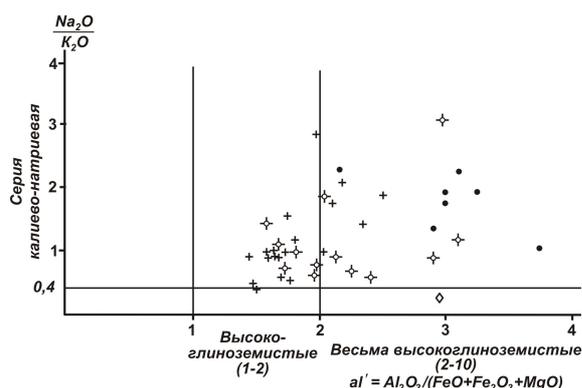


Рис. 2. Положение двуслюдяных углеродистых песчано-алевросланцев кедровской свиты, ультраметаморфитов и магматитов Кедровской очагово-купольной структуры на диаграмме $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}-\text{al}' = \text{Al}_2\text{O}_3/(\text{MgO}+\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$. Условные обозначения на рис. 1

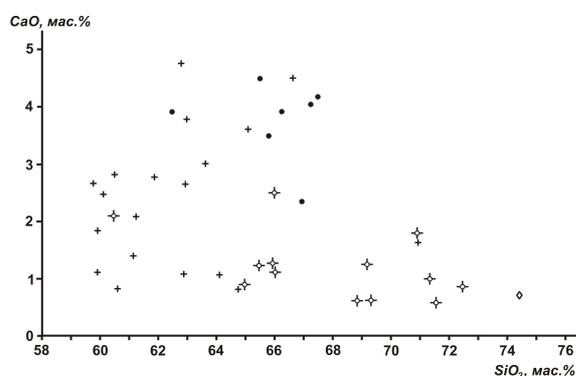


Рис. 3. Положение двуслюдяных углеродистых песчано-алевросланцев кедровской свиты, ультраметаморфитов и магматитов Кедровской очагово-купольной структуры на диаграмме $\text{SiO}_2 - \text{CaO}$

По соотношению кремнекислотности — известковистости (рис. 3) породы всех видов заметно дифференцированы. Сланцы относятся к низко и умеренно известковистым, но высококремнистым, гнейсы обладают низкой и умеренной известковистостью и низкой кремнистостью, гранодиориты — умеренно кремнисты, но отличаются высокой известковистостью.

2. Распределение рудогенных элементов в минеральных зонах Кедровского купола

Анализируется содержание в породах геохимически тесно связанных металлов — золота, серебра, ртути, образующих в рудах природный сплав. Как и для химического силикатного анализа, пробы отбирались на дальней периферии крупнообъемного околорудного метасоматического ореола Кедровского рудного поля, где изменения пород минимальны, происходили в основном за счет внутренних ресурсов (кроме CO_2) и, следовательно, содержания петро- и рудогенных элементов близки к таковым в исходных неизменных породах [21, 23]. Это, в частности, можно видеть на примере алмандин-двуслюдяных гнейсов и мигматитов, часть

проб которых было возможно отобрать из неизменных пород вне ореола (табл. 2). Только в подзоне интенсивного изменения внешней зоны заметно повышено в сланцах содержание серебра в сравнении с содержаниями металла в подзоне слабого и умеренного изменения. Эта выборка не участвует в сравнительном анализе.

Содержание золота, дисперсия его распределения низки во всех породах — в углеродистых сланцах, гнейсах и мигматитах, гранодиоритах и кварцевых диоритах. Содержание серебра в согласии с кларком на один-полтора порядка выше и оно, а также дисперсия его распределения, сопоставимы в сланцах и гранодиоритах, но несколько снижены в гнейсах и мигматитах. Золото-серебряное отношение не превышает 0,06. Высокая прямая корреляционная связь золота с серебром и ртутью зафиксирована соответственно в гранодиоритах и углеродистых сланцах. Ртуть, подобно серебру, содержится в сопоставимых количествах в сланцах и магматитах, но пониженных — в гнейсах и мигматитах при незначительно различающейся дисперсии.

3. Обсуждение результатов и выводы

Образование позднепалеозойской Кедровской очагово-купольной структуры предвещает формирование расположенного несколько южнее гигантского Ангаро-Витимского гранитоидного батолита и, вероятно, связано с его становлением под воздействием мантийного плюма — генератора высокотемпературных флюидов-теплоносителей. Ультраметаморфический процесс сопровождался локальным плавлением субстрата с образованием магматического ядра очагово-купольной постройки. Постепенные переходы от магматических пород ядра через мигматиты в гнейсы, а последних через огнейсованные углеродистые сланцы в двуслюдяные метаморфические сланцы доказывают образование Кедровского купола вследствие локально проявленного ультраметаморфизма и палингенеза карбонатно-терригенной кедровской толщи. Это обеспечивает возможность оценить эволюцию химического состава и геохимических особенностей исходного субстрата в процессе ультраметаморфизма.

Учитывая происхождение ультраметаморфических производных, следовало бы ожидать унаследованность их химического состава от сланцев до магматитов, которая однако выражается не по всем петрохимическим показателям. Она просматривается в сохранении сравнительно узкого интервала колебаний общей щелочности всех пород и в соответствии ее уровню нормальной щелочности гранодиоритов и кварцевых диоритов. Полная преемственность химического состава гнейсов и мигматитов от сланцев выражается также в принадлежности тех и других пород к калиево-натриевой петрохимической серии и в узком интервале изменений индекса их петрохимической лейкократовости. Низкая в большинстве проб сравнительно с

Таблица 2. Оценка параметров распределения рудогенных элементов и корреляционных связей золота с рудогенными элементами в породах Кедровской очагово-купольной структуры и вмещающих ее углеродистых песчано-алевросланцах кедровской свиты

Элементы	Параметры распределения	Минеральные зоны околорудных метасоматических ореолов {число проб}				
		Нулевая (неизменные породы вне ореола)	Внешняя			
			Минеральные подзоны слабого (ВНЕС), умеренного (ВНЕУ), интенсивного (ВНЕИ) изменения			
		ВНЕС	ВНЕУ	ВНЕС+ВНЕУ	ВНЕИ	
Кварцевые диориты и гранодиориты центральной залежи						
Au	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$			0,7(0,8) {25}	0,8(1,0) {6}	
	$t(s)$			1,4(0,4)	2,1(1,1)	
Ag	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$			19,8(26,0) {25}	27,1(28,7) {6}	
	$t(s)$			1,9(27,0)	1,4(11,9)	
	$r(sr)$			0,55 (0,16)	0,93 (0,05)	
	Au/Ag			0,035	0,03	
Hg	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$			18,0(19,3) {25}	24,2(29,3) {6}	
	$t(s)$			1,5(7,9)	2,0(19,5)	
	$r(sr)$			-0,15(0,23)	-0,41(0,34)	
Альмандин-двуслюдяные гнейсы и мигматиты обрамления залежи						
Au	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$	0,7(0,7) {9}	0,7(0,8) {19}	0,9(1,0) {13}	1,1(1,2) {12}	
	$t(s)$	1,4(0,2)	1,5(0,3)	1,6(0,7)	1,5(0,5)	
Ag	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$	16,8(19,9) {9}	13,5(17,9) {19}	14,7(17,5) {13}	16,0(19,7) {12}	
	$t(s)$	1,8(13,1)	1,9(20,0)	1,9(10,0)	1,9(14,8)	
	$r(sr)$	0,22(0,32)	0,01(0,23)	0,13(0,27)	-0,02(0,30)	
	Au/Ag	0,04	0,05	0,06	0,07	
Hg	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$	10,2(12,3) {9}	13,4(22,1) {19}	14,9(19,9) {13}	24,3(35,9) {12}	
	$t(s)$	1,9(8,8)	2,6(25,0)	2,0(20,7)	2,5(34,3)	
	$r(sr)$	-0,07(0,33)	0,39 (0,19)	-0,20(0,27)	-0,01(0,30)	
Углеродистые песчано-алевросланцы (мусковит-биотитовый парагенезис)						
Au	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$		1,2(1,6) {37}	0,7(1,5) {15}	1,1(1,7) {23}	
	$t(s)$		2,1(1,5)	2,9(2,7)	2,7(1,6)	
Ag	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$		26,7(32,1) {37}	23,3(26,0) {15}	56,6(91,7) {23}	
	$t(s)$		1,9(20,9)	1,6(13,9)	2,6(116,6)	
	$r(sr)$		0,001(0,2)	0,79 (0,11)	0,22(0,21)	
	Au/Ag		0,04	0,03	0,02	
Hg	$\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$		18,0(26,3) {37}	28,3(34,7) {15}	22,0(30,4) {23}	
	$t(s)$		2,8(20,7)	2,1(18,7)	2,2(27,0)	
	$r(sr)$		0,35 (0,16)	0,50 (0,22)	0,20(0,21)	

Примечание. Здесь и в табл. 3: $\overline{x\bar{x}}(\bar{x})$ – 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. Содержание Au и Ag определялось атомно-абсорбционным методом (чувствительность 0,1 мг/т) в лаборатории ядерно-физических методов анализа ОИГГИМ СО РАН (г. Новосибирск, аналитик В.Г. Цимбалист). Содержание Hg определялось атомно-абсорбционным методом (чувствительность 5,0 мг/т) в ЦЛ ПГО «Березовгеология», (г. Новосибирск) под руководством Н.А. Чарикова. Оценка качества аналитических работ выполнена в [23]. Расчеты выполнены Н.П. Ореховым

другими породами кремнекислотность гнейсов и мигматитов, судя по присутствию в выборке и высококремнистых ультраметаморфитов, обусловлена, скорее всего, с одной стороны, широкими вариациями содержания кремнезема в исходных породах, а, с другой – включением в выборку случайных величин проб гнейсов и мигматитов, образованных за счет низкокремнистых сланцев. Свойственные магматическим породам умеренная кремнекислотность и сравнительно с другими породами высокое значение индекса петрохимической лейкократовости есть следствие поглощения палингенным расплавом не только кремнистых пород, но и известняков кедровской толщи и возрастания его известковистости (рис. 3).

Все это служит основанием полагать ультраметаморфический и магматический субстрат Кедровского купола как отражающий в общих чертах химический состав карбонатно-терригенной вмещающей толщи.

Содержание металлов триады, показатели дисперсии их распределения, золото-серебряное отношение в породах всех минеральных зон Кедровского купола вполне сопоставимы, что подчеркивает отсутствие признаков миграции их в ореоле в целом и из высокотемпературных зон в низкотемпературные. В равной степени следует констатировать близость значений содержаний и параметров распределения золота и ртути в ультраметаморфических и магматических породах Кедровского купола и ар-

Таблица 3. Оценка параметров распределения рудогенных элементов и корреляционных связей золота с рудогенными элементами в ультраметаморфических породах Муйского выступа архейского фундамента Сибирского кратона (в объеме Ирокиндинского рудного поля)

Элементы	Параметры распределения	Минеральные подзоны слабого (ВНЕС), умеренного (ВНЕУ), интенсивного (ВНЕИ) изменения внешней зоны околорудных метасоматических ореолов {число проб}		
		ВНЕС	ВНЕУ	ВНЕИ
Граниты мигматитовой выплавки				
Au	$\overline{xz}(\bar{x})$	0,6(0,7) {28}	0,6(0,7) {10}	0,6(0,7) {17}
	$t(s)$	1,6(0,4)	1,4(0,2)	1,4(0,2)
Ag	$\overline{xz}(\bar{x})$	47,9(70,3) {28}	58,9(77,2) {10}	47,3(54,8) {17}
	$t(s)$	2,4(71,6)	2,4(50,2)	1,8(27,3)
	$r(sr)$	0,18(0,27)	-0,08(0,35)	0,28(0,28)
	Au/Ag	0,01	0,01	0,01
Hg	$\overline{xz}(\bar{x})$	20,6(24,1) {28}	21,8(28,3) {10}	16,2(30,1) {17}
	$t(s)$	1,7(16,6)	2,2(20,9)	2,5(55,1)
	$r(sr)$	-0,15(0,27)	-0,58 (0,24)	-0,20(0,29)
Альмандин-диопсид-двуполевошпатовые гнейсы				
Au	$\overline{xz}(\bar{x})$	0,7(1,1) {29}	0,6(0,7) {48}	0,7(0,7) {29}
	$t(s)$	2,1(1,8)	1,5(0,3)	1,5(0,3)
Ag	$\overline{xz}(\bar{x})$	35,7(43,9) {29}	50,0(55,9) {48}	60,3(85,3) {29}
	$t(s)$	1,8(36,8)	1,7(25,3)	2,2(95,1)
	$r(sr)$	0,73 (0,12)	0,02(0,20)	0,38(0,22)
	Au/Ag	0,02	0,01	0,01
Hg	$\overline{xz}(\bar{x})$	17,1(22,0) {29}	15,6(18,2) {48}	19,3(34,4) {29}
	$t(s)$	2,0(17,0)	1,7(11,5)	2,4(56,5)
	$r(sr)$	-0,07(0,19)	-0,36 (0,13)	-0,10(0,18)
Альмандин-двуслюдяные гнейсы				
Au	$\overline{xz}(\bar{x})$	0,5(0,6) {30}	1,2(1,4) {17}	1,9(2,5) {15}
	$t(s)$	1,3(0,2)	1,7(0,7)	2,4(1,7)
Ag	$\overline{xz}(\bar{x})$	36,2(43,1) {30}	33,3(42,4) {17}	42,5(52,4) {15}
	$t(s)$	2,2(19,3)	2,3(25,9)	2,0(32,5)
	$r(sr)$	0,12(0,33)	0,61 (0,19)	-0,32(0,26)
	Au/Ag	0,01	0,036	0,04
Hg	$\overline{xz}(\bar{x})$	19,4(21,4) {30}	21,2(23,4) {17}	17,0(19,7) {15}
	$t(s)$	1,6(9,5)	1,6(10,0)	1,7(11,8)
	$r(sr)$	-0,46(0,26)	-0,23(0,29)	0,19(0,28)
Кальцифиры				
Au	$\overline{xz}(\bar{x})$	0,9(1,2) {25}	0,9(1,4) {23}	0,9(1,0) {6}
	$t(s)$	2,1(1,7)	2,3(1,9)	1,8(0,6)
Ag	$\overline{xz}(\bar{x})$	42,5(53,4) {25}	30,9(36,1) {23}	44,4(47,6) {6}
	$t(s)$	2,2(32,1)	1,9(20,2)	1,5(20,8)
	$r(sr)$	0,75 (0,17)	0,09(0,37)	0,80 (0,16)
	Au/Ag	0,02	0,03	0,02
Hg	$\overline{xz}(\bar{x})$	23,8(29,6) {25}	21,6(32,4) {23}	32,5(39,6) {6}
	$t(s)$	2,0(19,9)	2,3(35,3)	2,1(25,5)
	$r(sr)$	-0,36(0,33)	-0,54(0,27)	-0,06(0,45)

хейского субстрата Муйского выступа Сибирского кратона (табл. 3), близость содержаний золота в породах Кедровского купола и в аналогичных образованиях Центрального антиклинория Енисейского [24, 25] и Ленского [26] районов. Более высокое со-

держание серебра в породах архейского фундамента в Муйском выступе сравнительно с породами Кедровского купола связано, вероятно, с геохимическими особенностями исходного для архейских ультраметаморфических пород субстрата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Петров Б.В., Кренделев Ф.П., Бобров В.А. и др. Поведение радиоактивных элементов и золота при метаморфизме осадочных пород Патомского нагорья // Геохимия. – 1972. – № 8. – С. 947–956.
- Буряк В.А. О золотоносности осадочных толщ и поведении в них золота в процессе метаморфизма и гранитизации // Геология и геофизика. – 1978. – № 6. – С. 142–146.
- Давыденко А.Г. Миграция вещества в зонах метаморфизма. – М.: Недра, 1983. – 123 с.
- Злобин В.А., Цимбалест В.Г. Эффект прокаливания и проблема формирования золотого оруденения в черносланцевых толщах // Генетические модели эндогенных рудных формаций. – Т. 2. – Новосибирск: Наука, 1983. – С. 162–169.
- Забияка И.Д., Забияка А.И., Верниковский В.А. и др. Роль регионального метаморфизма в концентрации золота в докем-

- брийских породах Таймыра // Доклады АН СССР. – 1983. – Т. 269. – № 6. – С. 1430–1433.
6. Комаров Ю.В., Копылов Э.Н., Белоголовкин А.А. и др. Байкальский метасвод (структура, магматизм, металлогения). – Новосибирск: Наука, 1984. – 120 с.
 7. Белевцев Я.Н. Развитие теории метаморфогенного рудообразования // Региональный метаморфизм и метаморфогенное рудообразование / Под ред. Я.Н. Белевцева. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 5–33.
 8. Валасис А.Г., Коваль В.Б. Термальные купола, зональный метаморфизм и рудогенез // Доклады АН УССР. Серия Б. – 1987. – № 7. – С. 11–15.
 9. Кориковский С.П. Метаморфические рудообразующие системы // Эндогенные источники рудного вещества. – М.: Наука, 1987. – С. 80–89.
 10. Росляков Н.А., Калинин Ю.А. Геохимия и золотоносность зеленосланцевых толщ МНР // Актуальные вопросы геологии Сибири: Тез. докл. научной конф., посвященной 100-летию открытия Томского гос. ун-та, г. Томск, 13–15 декабря 1988 года. – Т. 1. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1988. – С. 224–226.
 11. Ваулин О.В., Кирсанов А.В. Влияние регионального метаморфизма на миграцию рудогенных элементов в углеродистых отложениях Туркестанского хребта // Зап. Узбекистан. отд. ВМО. – 1990. – № 43. – С. 105–110.
 12. Ажгирей Д.Г., Светлов С.А., Гурейкин Н.Я. и др. Связь золотого оруденения с плутоническим метаморфизмом в миогеосинклинальной области южного Тянь-Шаня // Руды и металлы. – 2000. – № 4. – С. 47–52.
 13. Парада С.Г. Условия формирования и золотоносность черносланцевых комплексов Амуро-Охотской складчатой области: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. – Ростов на Дону: Ростовский гос. ун-т, 2004. – 48 с.
 14. Ли Л.В. О связи формирования золоторудных месторождений с процессами прогрессивного регионального метаморфизма в Енисейском кряже // Рудоносность и металлогения структур Енисейского кряжа. – Красноярск: Красноярское книжное изд-во, 1974. – С. 102–113.
 15. Хорева Б.Я. Крупномасштабное картирование метаморфогенных термальных антиклиналей (при поисках золоторудных месторождений) // Геология и геофизика. – 1987. – № 11. – С. 67–73.
 16. Блюман Б.А. Золоторудная «черносланцевая» формация: модель взаимоотношений регионального метаморфизма, гранито- и рудообразования // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций. – Новосибирск: ИГиГ СО АН СССР, 1988. – С. 135–141.
 17. Макрыгина В.А., Развозжаева Э.А., Мартихаева Д.Х. Органическое вещество и микроэлементы в процессе метаморфизма метapelитов (Хамар-Дабан, юго-западное Прибайкалье) // Геохимия. – 1991. – № 3. – С. 358–369.
 18. Долженко В.Н. Золотоносные толщи докембрия и палеозоя Кыргызстана // Геохимия. – 1993. – № 11. – С. 1620–1628.
 19. Миронов А.Г., Бахтина О.Т., Жмодик С.М. и др. Новый тип золотого оруденения в стратиформных пирротиновых рудах Восточного Саяна // Доклады РАН. – 1999. – Т. 365. – № 6. – С. 798–801.
 20. Озерова Н.А. Ртуть и эндогенное рудообразование. – М.: Наука, 1986. – 232 с.
 21. Кучеренко И.В. Геохимические черты околожильного метасоматизма в кварцевых диоритах и гранодиоритах очагово-купольной постройки Кедровского золоторудного месторождения (Северное Забайкалье). Ч. 1. Условия залегания и идентификация магматических пород // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т. 309. – № 2. – С. 41–45.
 22. Андреева Е.Д., Баскина В.А., Богатиков О.А. и др. Магматические горные породы. – Ч. 2. – М.: Наука, 1985. – 767 с.
 23. Кучеренко И.В., Орехов Н.П. Золото, серебро, ртуть в золотоносных апогнейсовых и апосланцевых околорудных метасоматических ореолах березитовой формации // Известия Томского политехнического университета. – 2000. – Т. 303. – № 1. – С. 161–169.
 24. Ножкин А.Д., Кренделев Ф.П., Миронов А.Г. Золото в процессах магматизма и метаморфизма на примере северо-востока Енисейского кряжа // Золото и редкие элементы в геохимических процессах. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 54–70.
 25. Сазонов А.М. Минералого-геохимические признаки метаморфогенного генезиса золотого оруденения Средней Сибири // Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. – Новосибирск: Наука, 1985. – С. 47–53.
 26. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. – М.: Недра, 1982. – 256 с.

Поступила 12.12.2006 г.