

УДК 553.411.071:553.242.4

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФЕМОФИЛЬНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТОНОСНЫХ БЕРЕЗИТОВ

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

Томский политехнический университет

E-mail: kucherenko.o@sibmail.com

*ООО «Ленская золоторудная компания», г. Бодайбо

E-mail: Verkhozin AV@polyusgold.com

Приведены новые данные, подтверждающие ранее выявленную в мезотермальных золоторудных месторождениях закономерность – образование в тыловых зонах рудовмещающих метасоматических ореолов пропилит-березитовой формации в обрамлении рудоконтролирующих глубинных разломов контрастных аномалий фемофильных элементов в ассоциации Р, Ti, Mg, Fe, Mn, Ca. В обсуждаемом случае (месторождение Чертово Корыто Патомского нагорья) коэффициенты концентрации упомянутых элементов в апочерносланцевых березитах достигают 6...9. Показано, что новые факты, как и явление в целом, вписываются в систему доказательств базальтогенной концепции образования мезотермальных золоторудных месторождений в кристаллическом субстрате и черносланцевых толщах.

Ключевые слова:

Месторождение Чертово Корыто, углеродистые сланцы, золотоносные березиты, аномалии, фемофильные элементы.

Введение

Обнаружение в одном из мезотермальных золотых месторождений комплекса до-, внутри- и послерудных даек долеритов [1] в сочетании с обычным присутствием базитовых даек в золоторудных полях послужило основанием для предположения о функционировании рудообразующего процесса в условиях флюидно-магматической активности мантии, сопровождаемой генерацией металлоносных растворов в мантийных магматических очагах. Поэтому, накопление в околожилных золотоносных березитах в обрамлении Киянского глубинного разлома ассоциации фемофильных элементов (Р, Ti, Mg) [2], представляющей петрохимическое своеобразие основных, ультраосновных и производных из них щелочных магм, воспринималось как следствие поступления их с металлоносными растворами из мантии. Рудоконтролирующая и раствороподводящая функции разлома доказывались постепенным по мере удаления от него снижением содержания и запасов золота в промышленных жилах Ирокиндинского месторождения, контрастности аномалий фемофильных элементов в березитах, концентрации титана в метасоматическом пирите [2, 3]. Позднее комплексные контрастные аномалии обсуждаемых элементов в высокотемпературных метасоматитах внутрирудных даек-флюидопроводников долеритов и в околожилных березитах обнаружены в Кедровском и Каралонском месторождениях [3–5].

Значение приведенных фактов в теории рудообразования определяется возможностью уточнения знаний о геологической обусловленности возникновения рудообразующих систем, об эволюции физико-химических режимов во время их функционирования. Опубликованные сведения такого рода носят пока фрагментарный, «элементный» характер. Сообщается, что рутилом, например, обогащены околорудные измененные породы месторождений Советского [6], Коннемарра, Кэтлин

(Австралия) [7], Мангалуру (Индия) [8], Обуаси (Гана) [9], рутилом и роскоэлитом – Крипль-Крик (Колорадо) [10], апатитом – Советского [11], Сухоложского [12] и др. В рудовмещающих метасоматитах последнего недавно отмечен более полный набор фемофильных элементов в аномальных концентрациях, включающий фосфор, титан, магний, металлы платиновой группы и другие [13]. Происхождение аномалий обычно не обсуждается, либо их образование связывают с перераспределением элементов в породах [6 и др.]. На привнос титана извне при рудообразовании указывается в [14].

Очевидно, чтобы судить о масштабах явления, условиях его возникновения, сфере приложения и исходя из представления о повторяемости результатов эксперимента или природного явления как признаке закономерности, целесообразно продолжать поиски аномалий обсуждаемых элементов в не изученных в этом отношении гидротермальных месторождениях. В плане дальнейшего решения обозначенной задачи в статье приведены и обсуждаются новые данные о фемофильных элементах, контрастные аномалии которых обнаружены в рудовмещающем метасоматическом ореоле и рудах мезотермального золотого месторождения Чертово Корыто.

Минералого-петрохимические черты рудовмещающего метасоматического ореола месторождения Чертово Корыто

Месторождение Чертово Корыто расположено на севере Патомского нагорья. Оно залегает в раннепротерозойской толще углеродистых терригенных сланцев михайловской свиты мощностью до 1,2 км. Толща образует пологую, с падением крыльев до 10...20°, синклиналь широтного простирания, сохранившуюся от эрозии в призмковой части.

В разрезе толщи ритмично чередуются слои мелкозернистых, разномзернистых до крупнозернистых полевошпат-кварцевых метапесчаников, ме-

таалевролитов при участии метааргиллитов. Последние занимают не более 6...7 % от объема толщи. В обломочной фракции, занимающей до 90 % объема пород, преобладают окатанные в разной степени зерна кварца и, до 20 об. %, – полевых шпатов. Цемент серицитовый контактово-поровый, контактовый, базальный. Метааргиллиты сложены серицитом. Все породы неравномерно, от долей до 2 об. %, обогащены керогеном, отвечающим переходным разностям от антрацита до кокса. Породы содержат равномерно рассеянную примесь кристаллов амфибола (жедрита), полихромного турмалина, пластинки бурого биотита и мусковита – свидетелей начальных изменений эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма.

В рудовмещающей толще участвуют редкие превращенные в метасоматиты дайки долеритов, содержащие индикаторную ассоциацию роговой обманки и биотита – указателей флюидопроводящей в горячем состоянии функции даек и внутрирудного их возраста [3, 15].

Золото-сульфидно-кварцевая жильно-прожилково-вкрапленная минерализация образована в складчато-разломной зоне северо-северо-западного (350°) простираения, оперяющей Амандракский глубинный разлом. В ней сочетаются крутопадающий (60°) на запад-юго-запад взброс и оперяющая его в висячем боку полого (до 20°) погружающаяся в том же направлении мощная вмещающая оруденение зона разуплотнения пород, на расстоянии нескольких сотен метров выклинивающаяся на западе. В составе рудной минерализации в кварце и вмещающих метасоматитах участвуют пирит, пирротин, арсенопирит, карбонаты, в качестве примеси – галенит, сфалерит, халькопирит, микропримеси – кобальтин, самородный свинец, ульманит, теллурувисмутит, валлериит. По данным изучения газово-жидких включений в минералах руды образованы в температурном интервале 490...50 °С.

Распределение новообразованных минеральных ассоциаций рудовмещающего метасоматического ореола подчиняется определенному порядку минеральной зональности с многократной сменой по литорали и вертикали минеральных зон (подчеркнуты минералы, исчезающие в более тыловой зоне).

Внешняя зона: кварц + серицит + лейкоксен + рутил + сульфиды + кальцит + анкерит + альбит + актинолит + хлорит + кероген + биотит;

Углеродистая зона: кварц + серицит + лейкоксен + рутил + сульфиды + золото + кальцит + анкерит + альбит + актинолит + хлорит + кероген;

Хлоритовая зона: кварц + серицит + лейкоксен + рутил + сульфиды + золото + кальцит + анкерит + альбит + актинолит + хлорит (рипидолит);

Альбитовая зона: кварц + серицит + лейкоксен + рутил + сульфиды + золото + Мп-кальцит + анкерит + альбит;

Тыловая (березитовая) зона: кварц + серицит + лейкоксен + рутил + сульфиды + золото + Мп-кальцит + анкерит.

Кварцевые жилы и прожилки располагаются преимущественно среди черных пород углеродистой зоны и не сопровождаются в зальбандах признаками усиления околожильных изменений.

Внутренняя граница внешней зоны фиксируется по полному растворению биотита на дальней западной окраине ореола. Основной объем его сложен черными, темно-серыми породами промежуточной углеродистой зоны. Породы трех тыловых зон, лишённые керогена, осветлены до зеленовато-серого цвета в хлоритовой и светло-серого в альбитовой и березитовой зонах. Мощность хлоритовой зоны достигает многих метров, альбитовой – десятков сантиметров, березитовой – многих сантиметров. Тыловые зоны приурочены к субгоризонтальным межслоевым швам рудовмещающей толщи и рассредоточены в объеме углеродистой зоны.

Исчезновению каждого минерала в зональном ореоле сопутствует постепенное нарастание его концентрации в направлении к внутренней границе содержащей его минеральной зоны. Этот факт сопровождается общим нарастанием объема минеральных новообразований вблизи внутренней границы каждой зоны и от внешней к тыловой зоне. Последнее согласуется с изменениями химического состава пород, в частности, – с возрастанием массы перемещенного вещества в направлении к тыловой зоне (табл. 1, 2). Отложение в породах тыловых зон значительной, до нескольких десятков об. %, массы анкерита, обусловившее утяжеление пород (табл. 1), происходило благодаря опережающему, в сопоставимых объемах, растворению силикатов, в основном кварца, что было возможно в условиях щелочной среды.

Ранние щелочные растворы обеспечили также поступление соединений фемофильных элементов, в том числе Р и Тi, которые в кислотных средах обладают низкой миграционной способностью. Накопление в метасоматитах и рудах Тi в форме рутила и лейкоксена, Р – в составе апатита, Са, Fe, Mg, Мп – в рипидолите и карбонатах, Si – в составе кварца жил и прожилков обязано, очевидно, выделению перечисленных минералов вследствие трансформации режима растворов в кислотный в условиях нарастающей концентрации кремнеки-

Таблица 1. Химические составы метаалевролитов, метапесчаников михайловской свиты и образованных в них метасоматитов рудовмещающего зонального метасоматического ореола месторождения Чертово Корыто

Номер пробы (число рядовых проб)	Минеральная зона	Содержание, мас. %														Σ	δ
		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	ппп		
11(5)	У	64,24	16,42	3,68	1,95	0,31	0,62	0,66	2,63	4,79	1,08	0,66	0,04	0,15	2,34	99,57	2,73
12(2)	У	62,28	17,26	3,85	1,68	0,22	0,53	1,00	3,12	5,03	1,38	0,74	0,04	0,15	2,68	99,96	2,74
13(8)	Х	48,60	11,09	2,46	0,53	0,64	8,80	8,00	4,96	7,90	1,08	4,01	0,25	1,34	0,07	99,73	2,88
21(1)	Б	37,32	10,34	3,01	0,21	0,00	17,16	12,66	6,70	5,69	0,10	4,18	0,84	1,42	0,87	100,50	2,87
25(5)	У	73,77	12,05	2,57	1,56	0,07	0,50	0,56	1,52	3,83	0,59	0,50	0,02	0,16	1,75	99,45	2,71
14(1)	У	72,71	12,76	1,82	2,73	0,20	0,70	0,71	1,73	3,95	0,45	0,64	0,04	0,11	1,14	99,69	2,69
15(3)	У	69,21	13,28	2,00	1,67	0,16	0,97	1,00	3,27	5,03	0,99	0,61	0,05	0,16	1,63	100,03	2,76
16(6)	Х	44,98	10,79	2,00	0,49	0,35	9,50	7,90	6,23	9,46	0,73	4,34	0,35	1,49	1,05	99,66	2,87
22(1)	Б	48,86	10,27	2,23	0,20	0,07	9,77	7,16	5,20	7,66	1,56	4,18	0,70	1,46	0,51	99,83	2,88
26(1)	В	72,66	13,22	1,70	3,67	0,02	0,52	1,12	1,26	2,75	0,42	0,46	0,03	0,25	1,28	99,36	2,70
23(1)	У	72,15	12,32	2,89	1,05	0,24	0,53	1,70	2,60	4,19	0,78	0,58	0,03	0,13	1,93	100,12	2,77
18(4)	Х	50,28	10,93	1,64	0,51	0,33	7,22	6,49	6,18	8,86	0,70	4,08	0,20	1,29	1,00	99,71	2,85
24(1)	Б	30,60	7,99	1,45	0,46	1,22	15,60	14,36	9,12	8,74	2,28	2,50	1,29	1,70	1,21	98,52	2,95

Примечание. 1) Метасоматические колонки: в крупнозернистых метаалевролитах (пробы 11, 12, 13, 21), в мелкозернистых метапесчаниках (пробы 25, 14, 15, 16, 22), в разнозернистых метапесчаниках (пробы 26, 23, 18, 24). 2) Минеральные зоны: В – внешняя, У – углеродистая, Х – хлоритовая, Б – березитовая. 3) δ – плотность горных пород, г/см³. 4) Полные химические силикатные анализы выполнены в ОАО «Западно-Сибирский испытательный центр» (г. Новокузнецк) под руководством Г.Н. Юминой

Таблица 2. Коэффициенты распределения (<1 вынос, >1 привнос) петрогенных элементов в минеральных зонах рудовмещающего метасоматического ореола месторождения Чертово Корыто

Минеральная зона (номер пробы в табл. 1)	Химические элементы														Δ
	Si	Al	K	Na	S сульфид.	C _{кв}	Ca	Mg	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Ti	P	Mn	O	
1. Крупнозернистые метаалевролиты															
Углеродистая (12)	0,97	1,05	1,05	0,86	0,7	0,86	1,5	1,2	1,05	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	2,9
Хлоритовая (13)	0,8	0,7	0,7	0,3	2,2	15,0	12,8	2,0	1,7	1,1	6,4	9,4	6,6	1,06	29,7
Березитовая (21)	0,6	0,7	0,86	0,1	0	29,1	20,2	2,7	1,3	0,1	6,7	10,0	22,1	1,08	43,4
2. Мелкозернистые метапесчаники															
Углеродистая (14)	1,0	1,05	0,7	1,8	2,8	1,4	1,3	1,1	1,0	0,8	1,3	0,7	2,0	1,0	3,5
Углеродистая (15)	1,0	1,1	0,8	1,1	2,3	2,0	1,8	2,2	1,3	1,7	1,2	1,0	2,5	1,0	6,53
Хлоритовая (16)	0,6	0,95	0,8	0,3	5,3	20,1	15,0	4,3	2,6	1,3	9,2	9,9	18,5	1,0	34,9
Березитовая (22)	0,7	0,9	0,9	0,1	1,1	20,8	13,6	3,6	2,1	2,8	8,9	9,7	37,2	1,0	32,5
3. Разнозернистые метапесчаники															
Углеродистая (23)	1,0	1,0	1,7	0,3	12,3	1,1	0,6	2,1	1,6	1,9	1,3	0,5	1,0	1,0	7,94
Хлоритовая (18)	0,7	0,9	1,0	0,15	17,4	14,7	6,1	5,2	3,4	1,8	9,4	5,5	7,0	1,0	31,4
Березитовая (24)	0,5	0,7	0,9	0,1	66,7	32,8	14,0	7,9	3,5	5,9	5,9	7,4	47,0	1,0	55,6

Примечание. 1) Коэффициенты распределения петрогенных элементов рассчитаны на основе петрохимических пересчетов по объемно-атомному методу полных химических силикатных анализов проб и относительно слабо измененных пород углеродистой (пробы 11, 25 в табл. 1) и внешней (проба 26) зон рудовмещающего метасоматического ореола. 2) Δ – удельная масса перемещенного (привнесенного и вынесенного) вещества в процентах к массе вещества исходной породы в стандартном геометрическом объеме 10000 Å³

слых солей, например, щелочных металлов, прежде всего, удаляемого из пород Na, и высокого окислительного потенциала. Отсутствие в зальбандах кварцевых жил и прожилков признаков усиления околожилльных изменений есть следствие того, что заполнявшие поздние трещины кислотные растворы не были способны взаимодействовать с существенно кварцевыми боковыми породами и растворять кварц.

По минералого-петрохимическим чертам метасоматит тыловой зоны отвечает березиту, а метасоматический ореол в целом представляет собой

обычное для мезотермальных золотых месторождений [15] сочетание березитовой формации в тыловых зонах и пропилитовой – в периферийных.

Заключение

На примере месторождения Чертово Корыто подтверждены выводы о повторяемости явления накопления ассоциации фемофильных элементов в рудовмещающих метасоматических ореолах мезотермальных золоторудных полей, образованных в несланцевом (Ирокиндинское, Кедровское, Кара-

лонское и др.) и черносланцевом (Сухой Лог, Советское и др.) субстрате [5]. Эти факты сочетаются с контролем месторождений глубинными разломами и образованием в них внутрирудных умеренно щелочных базитовых даек — флюидопроводников [3, 15]. Вместе с другими данными [15] это усиливает представление о геолого-генетической однородности месторождений обеих совокупностей и создании тех и других в условиях и вследствие высо-

кой флюидно-магматической активности мантии. Этой активностью обусловлено формирование рудообразующих магматогенно-флюидных систем с генерацией щелочных металлоносных растворов в очагах умеренно щелочных базальтовых расплавов [15] и образованием жильно-прожилкового кварцевого наполнения оруденения за счет кремнезема, извлеченного в блоках рудообразования из вмещающих пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучеренко И.В., Грибанов А.П. Взаимоотношения дайковых образований с золоторудными кварцевыми жилами в Бериккульском рудном поле // Известия Томского политехнического института. — 1968. — Т. 134. — С. 153–158.
2. Кучеренко И.В. О фосфор-магний-титановой специализации золотоносных березитов // Доклады АН СССР. — 1987. — Т. 293. — № 2. — С. 443–447.
3. Кучеренко И.В. Пространственно-временные и петрохимические критерии связи образования золотого оруденения с глубинным магматизмом // Известия АН СССР. Сер. геологическая. — 1990. — № 10. — С. 78–91.
4. Кучеренко И.В. Теоретические и прикладные аспекты изучения геохимии титана, фосфора, магния в мезотермальных золотых месторождениях. Ч. 1 // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 2. — С. 49–55.
5. Кучеренко И.В. Теоретические и прикладные аспекты изучения геохимии титана, фосфора, магния в мезотермальных золотых месторождениях. Ч. 2 // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 3. — С. 35–42.
6. Петровская Н.В. Минералогические поисковые критерии в условиях Енисейского кряжа // Труды НИГРИЗолото. — Вып. 18. — М., 1951. — С. 74–86.
7. Eggo A.J., Doepel M.G. Discrimination between altered and unaltered rocks at the Connemarra and Kathleen Au deposits western Australia // J. of Geochemistry Explorer. — 1989. — V. 31. — № 3. — P. 237–252.
8. Ugarkar A.G., Tenginkai S.G. Gold-quartz sulphide reefs Mangaluru, Gulbarga district, Karnataka // Current Science. — 1988. — V. 57. — № 3. — P. 143–145.
9. Yao Y., Robb L.J. Gold mineralization in Paleoproterozoic granitoids at Obuasi, Ashanti region, Ghana: Ore geology, geochemistry and fluid characteristics // South Africa Journal Geol. — 2000. — V. 103. — № 3–4. — P. 255–278.
10. Thompson T.B., Trippel A.D., Dwelley P.C. Mineralised veins and breccias of the Cripple Creek district, Colorado // Econ. Geol. — 1985. — V. 80. — № 6. — P. 1669–1688.
11. Петровская Н.В. Самородное золото. — М.: Наука, 1973. — 347 с.
12. Шаров В.Н., Шмотов А.П., Коновалов И.В. Метасоматическая зональность и связь с ней оруденения. — Новосибирск: Наука, 1978. — 103 с.
13. Лаверов Н.П., Дистлер В.В., Сафонов Ю.Г. и др. Рудообразующая система золото-платинового месторождения Сухой Лог // Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Северо-Азиатского кратона и орогенных поясов его обрамления: Матер. II Всеросс. металлогенич. совещ., г. Иркутск, 25–28 авг. 1998 г. — Иркутск: ООО «Сантай», 1998. — С. 296.
14. Русинов В.Л., Русинова О.В. Метасоматические процессы в углеродистых толщах в региональных зонах сдвиговых деформаций // Доклады РАН. — 2003. — Т. 388. — № 3. — С. 378–382.
15. Кучеренко И.В. Петрологические и металлогенические следствия изучения малых интрузий в мезотермальных золоторудных полях // Известия Томского политехнического университета. — 2004. — Т. 307. — № 1. — С. 49–57.

Поступила 06.07.2009 г.