

## ДОЛОМИТ ИЗ КВАРЦЕВЫХ ЖИЛ БЕРЕЗОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

Е.С. Шагалов, Ю.В. Ерохин

Березовское золоторудное месторождение является одним из старейших рудников страны и разрабатывается с 1745 года. С тех пор исследователи активно изучали минералогию золотосодержащих сульфидно-кварцевых жил с вмещающими метасоматитами. Но, к сожалению, внимание минералогов в основном акцентировалось на разнообразной сульфидной минерализации или, в крайнем случае, на кварцесамощетном сырье и иногда редких минералах. Поэтому, несмотря на достаточно высокую степень исследованности месторождения, карбонаты из лестничных и красичных жил оказались практически не изученными, хотя бы по сравнению с карбонатами из вмещающих метасоматитов [Сазонов, 1975; Сазонов, 1984; Бакшеев, Кудрявцева, 1999]. Данная работа по изучению доломита в сульфидно-кварцевых жилах поможет восполнить некоторый пробел в минералогии Березовского золоторудного месторождения. Материалом для исследования послужили пробы, отобранные нами в шахтных и открытых выработках, а также в фондах Березовской ГРП.

Кварцевые жилы на Березовском месторождении условно разделяют на безрудные и рудные. К безрудным кварцевым жилам относятся кварц-турмалиновые, кварц-турмалин-пиррофилитовые, кварц-эпидотовые и кварц-альбитовые. Рудные кварцевые жилы месторождения представлены двумя типами – шеелит-турмалин-кварцевыми вольфрамоносными и сульфидно-кварцевыми золотоносными [Бородаевский, Бородаевская, 1947]. Кварц-турмалиновые жилы пользуются широким распространением в листовенитах и тальк-карбонатных породах. Особенно часто они встречаются в карбонатных породах вблизи продуктивных рудоносных жил на Ленинском руднике, Кремлевском руднике, Преображенской горе и т. д. Жилы сложены грубозернистым молочным, реже друзовым кварцем, содержащим кроме турмалина в незначительном количестве карбонат и пирит. Эти жилы не золотоносные и не содержат шеелита. Жилы сульфидно-кварцевого состава являются господствующим типом жил на месторождении, они сформировались после даек и залегают непосредственно в них (лестничные жилы) или во вмещающих поро-

дах (красичные жилы). Минеральный состав кварцевых жил Березовского золоторудного месторождения характеризуется большим разнообразием. Жилы сульфидно-кварцевого состава представлены четырьмя ассоциациями минералов: анкерит-кварцевой, золото-пирит-кварцевой, золото-полиметаллической и карбонатной [Бородаевский, Бородаевская, 1947]. Доломит является одним из главных минералов в кварцевых жилах Березовского месторождения. Несмотря на большое количество генераций карбоната в кварцевых жилах, их визуально практически невозможно отличить друг от друга. Доломит обычно образует седловидные расщепленные кристаллы в друзовых полостях, либо скопления в кварцевом агрегате.

Химический состав доломитов (табл. 1) немного отличается от стандартных значений. Главное отличие заключается в содержании кальция, которое падает от 33 мас. % в лестничных жилах до 29 мас. % в красичных жилах (в классическом анализе доломита 30 % CaO). Завышенные содержания кальция в доломитах лестничных жил, по всей видимости, связаны с присутствием в доломите твердого раствора кальцита. Это показывает высокую активность кальция в гидротермальном растворе, что и выразилось в последующей смене парагенезиса карбонатов от доломита к кальциту в сульфидно-кварцевых жилах. На образцах данного типа жил можно наблюдать, как первичные ромбоэдрические доломиты обрастают более поздними кристаллами кальцита. В системе MnO-MgO-FeO доломиты образуют тренд от чисто магнезиальных разновидностей к центральной части треугольника. При этом все составы карбонатов попадают в поле доломитов, хотя тренд и тяготеет к области составов анкерита. В лестничных жилах наиболее магнезиальные доломиты с FeO не более 0,26 мас. % и MnO до 1,2 мас. % наблюдаются в доломитовых «сухарях» (№ 20), а наименее (№ 25) – с FeO до 9,7 мас. % и MnO до 5,6 мас. % – в кристаллах доломита среди поздних полостей по зальбандам сульфидно-кварцевой жилы. В первом случае содержание MgO составляло 15,3 мас. %, а во втором – 10,6 мас. %. Интересно, что доломиты из красичных жил, несмотря на достаточное количество FeO (до 4

Химический состав доломитов (в мас. %) из сульфидно-кварцевых жил

Номер пробы	MgO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MnO	FeO	NiO	ZnO	PbO	Сумма	
1ц № 20	15,33	0,20	33,50	1,23	0,25	–	–	–	50,51	
1кр № 20	15,28	–	32,77	1,19	0,26	–	–	–	49,50	
2ц № 26	13,45	–	33,61	1,19	3,54	–	–	–	51,80	
2кр № 26	13,99	0,18	32,85	1,38	0,57	–	–	0,74	49,72	
3ц № 25	10,64	0,29	29,51	5,55	9,69	–	–	–	55,68	
3кр № 25	15,39	0,27	32,59	1,58	–	–	–	–	49,83	
4ц № 21	16,86	0,13	29,67	1,11	2,55	0,15	–	–	50,28	
4кр № 21	17,89	–	29,54	0,68	1,94	–	0,23	–	50,28	
5	–	20,04	–	28,36	1,53	1,17	–	–	51,10	
6	–	20,54	–	28,26	1,57	1,19	–	–	51,56	
7	–	19,23	–	28,63	0,40	4,04	0,05	–	52,35	
8	–	17,91	–	30,09	0,34	3,88	0,06	–	52,28	
9	–	19,67	–	28,61	0,32	3,47	0,06	–	52,13	
Формульные единицы										
1ц № 20	0,76	0,01	1,19	0,03	0,01	–	–	–	2,00	
1кр № 20	0,76	–	1,19	0,04	0,01	–	–	–	2,00	
2ц № 26	0,67	–	1,20	0,03	0,10	–	–	–	2,00	
2кр № 26	0,71	0,01	1,21	0,04	0,02	–	–	0,01	2,00	
3ц № 25	0,56	0,01	0,97	0,17	0,29	–	–	–	2,00	
3кр № 25	0,77	0,01	1,18	0,04	–	–	–	–	2,00	
4ц № 21	0,84	–	1,06	0,03	0,07	–	–	–	2,00	
4кр № 21	0,87	–	1,05	0,02	0,05	–	0,01	–	2,00	
5	–	0,04	–	0,03	0,56	0,97	–	–	2,00	
6	–	0,97	–	0,96	0,04	0,03	–	–	2,00	
7	–	0,91	–	0,97	0,01	0,11	–	–	2,00	
8	–	0,85	–	1,03	0,01	0,10	–	–	2,00	
9	–	0,93	–	0,97	0,01	0,09	–	–	2,00	

*Примечание:* анализы сделаны на растровом электронном микроскопе JSM-5300 с энергодисперсионным спектрометром LINK ISIS (ИГЕМ РАН, аналитик М.И. Лапина); ан. 1-3 – доломиты из лестничных жил, ан. 4-9 – доломиты из красичных жил.

мас. %) и MnO (до 1,6 мас. %) характеризуются более высокими содержаниями MgO в пределах 16,9-20,5 мас. %. Причем самая низкая магнезиальность доломитов красичных жил все равно выше самых высокомагнезиальных карбонатов из лестничных жил. Если говорить о зональности в карбонатах, то от центра к краю в индивидах падает содержание как Fe, так и Mn. При этом содержание MnO может достигать 5,6 мас. % (т. е. количество минала кутногорита достигает 23 мол. %) при среднем содержании до 1 мас. %. Ранее для жильных доломитов Березовского месторождения приводились данные с содержанием менее 13 мол. % минала кутногорита [Бакшеев, Кудрявцева, 1999]. Присутствие примеси SiO<sub>2</sub> до 0,30 мас. %, скорее всего, связано с наличием крайне тонких включений кварца. Интересно, что подобная примесь встречается в доломитах из лестничных жил, в то время как в карбонате

красичных жил ее практически нет. Присутствие PbO до 0,74 мас. % и ZnO до 0,23 мас. % в доломитах, возможно, связано с пылевидными включениями галенита и сфалерита. Примесь никеля в доломитах вполне может считаться типоморфной: так все доломиты из лестничных жил не содержат примеси никеля. В тоже время карбонат из красичных жил содержит NiO от 0,05 до 0,15 мас. %, причем в последнем случае доломит характеризуется зеленоватой окраской. В целом примесь никеля в карбонате позволяет достаточно надежно разбраковывать минеральные ассоциации в сульфидно-кварцевых жилах из лестничных и красичных жил.

Микроэлементный состав карбонатов из сульфидно-кварцевых жил изучался методом ICP-MS (табл. 2). Подобное исследование проводилось ранее для карбонатов из лиственитизированных колонок Березовского месторожде-

## Геохимические данные доломитов (в г/т) Березовского месторождения

Эл-ты	Лестничные				Красичные		Эл-ты	Лестничные				Красичные	
	20	25	26	302-2	Т	21		20	25	26	302-2	Т	21
<b>Li</b>	2,19	0,34	1,03	1,00	2,37	0,32	<b>Cs</b>	0,55	0,02	0,21	0,05	–	0,04
<b>Be</b>	2,68	0,13	1,09	0,03	0,15	0,01	<b>Ba</b>	236	1,01	112	4,88	0,09	1,07
<b>Al</b>	24488	90	15350	71	83	13	<b>La</b>	8,64	0,54	4,10	0,99	0,93	0,77
<b>Sc</b>	2,02	14,6	7,12	21,00	0,94	13,08	<b>Ce</b>	14,84	1,80	7,66	2,60	3,53	2,59
<b>Ti</b>	308	0,39	169	0,35	0,36	0,27	<b>Pr</b>	1,51	0,29	0,85	0,36	0,68	0,39
<b>V</b>	10,84	2,83	8,67	6,86	2,66	2,80	<b>Nd</b>	5,81	1,64	3,75	1,72	4,13	2,09
<b>Cr</b>	1,39	0,96	1,10	–	0,11	95,86	<b>Sm</b>	1,15	0,85	1,21	0,64	1,88	0,97
<b>Mn</b>	9246	27095	14107	20175	984	8533	<b>Eu</b>	0,59	0,64	1,04	0,32	1,02	1,75
<b>Co</b>	2,27	0,33	1,67	0,57	0,98	2,03	<b>Gd</b>	1,17	1,38	1,88	1,05	2,28	1,24
<b>Ni</b>	5,86	7,04	4,35	4,27	56,65	108	<b>Tb</b>	0,13	0,31	0,34	0,25	0,30	0,22
<b>Cu</b>	1,90	5,53	1,84	3,24	17,77	0,80	<b>Dy</b>	0,72	2,11	2,27	2,18	1,52	1,16
<b>Zn</b>	7,56	44,21	27,02	76,69	1,04	15,49	<b>Ho</b>	0,12	0,40	0,42	0,59	0,26	0,17
<b>Ga</b>	5,61	1,19	3,20	1,01	0,12	0,38	<b>Er</b>	0,29	1,08	1,08	2,10	0,55	0,36
<b>Ge</b>	0,26	0,03	0,25	0,07	0,04	0,05	<b>Tm</b>	0,04	0,16	0,15	0,367	0,06	0,05
<b>Rb</b>	41,52	0,04	24,13	0,07	–	0,07	<b>Yb</b>	0,23	1,21	0,92	2,88	0,30	0,27
<b>Sr</b>	334	1072	662	725	59	1434	<b>Lu</b>	0,03	0,18	0,12	0,47	0,042	0,04
<b>Y</b>	2,59	10,41	8,93	15,10	11,34	4,99	<b>Ta</b>	0,04	0,002	0,32	0,002	0,001	0,002
<b>Zr</b>	37,80	0,42	22,08	0,48	0,01	0,32	<b>W</b>	8,94	0,37	5,34	0,12	0,07	0,17
<b>Nb</b>	0,28	–	0,14	–	–	–	<b>Pb</b>	3,34	2,43	34,53	9,67	2,49	2,80
<b>Mo</b>	–	–	0,15	–	0,01	–	<b>Bi</b>	0,04	0,02	0,13	0,031	0,01	0,02
<b>Ag</b>	0,08	0,10	0,41	0,06	0,06	0,004	<b>Th</b>	9,66	2,35	36,68	0,14	–	0,002
<b>Cd</b>	0,02	0,41	0,25	0,49	0,91	0,44	<b>U</b>	11,00	0,61	7,76	0,20	0,01	0,02

Примечание: анализы сделаны методом ICP-MS, аналитики Е.С. Шагалов, Д.В. Киселева.

ния [Викентьева, 2000]. К сожалению, ею были изучены только породообразующие карбонаты, а жильные минералы в работу не попали. Можно сказать, что в отличие от кальцитов [Ерохин и др., 2007] доломиты характеризуются большей концентрацией микроэлементов. Доломиты характеризуются очень высокими содержаниями Mn (до 27000 г/т), Fe (до 35000 г/т), Sr (до 1400 г/т) и Al (до 24500 г/т). Причем максимальные содержания глинозема наблюдаются в доломитах из лестничных жил, а минимальные из красичных. Интересные распределения отмечаются и для других элементов. К примеру, количество Ni в доломите красичных жил достигает 60-108 г/т, а в карбонате лестничных жил не более 7 г/т (такой же характер распределения отмечается для всей сидерофильной группы элементов). В целом для доломита красичных жил характерно обогащение «гипербазитовыми» элементами (Ni, Cr, Co, Fe), так как листвениты образуются по ультраосновным породам. Для доломитов лестничных жил наоборот типоморфно обогащение Ba (до 240 г/т), U (до 11 г/т), Th (до 37 г/т), Zr (до 38 г/т), Ti (до 309 г/т) и многими другими элементами, типичными для кислых и средних пород.

На спектрах распределения лантаноидов в доломитах можно увидеть, что уровень концентрации РЗЭ в карбонатах в принципе одинаковый (60-100 г/т), различается только конфигурация трендов. Так, для доломита из красичных жил (№ Т, 21) характерно выпуклое «крышеобразное» распределение с небольшим преобладанием легких редких земель и резкая положительная аномалия по европию (рис. 1А). Наличие подобной аномалии может объясняться тем, что у многих серпентинитов она хорошо проявлена, и, возможно, карбонат просто ее унаследовал. Доломиты из лестничных жил имеют другое распределение РЗЭ (рис. 1Б). К примеру, доломитовый «сухарь» (№ 20), образующий в березитах поздние скопления, характеризуется самым дифференцированным спектром лантаноидов с постепенным нарастанием концентраций от тяжелых к легким редким землям. Наряду с этим, в тренде данного доломита отмечается слабая положительная аномалия по европию. По всем данным – это наиболее ранняя генерация карбоната. При этом спектр доломита напоминает распределение лантаноидов в жильном кальците, возможно формирование карбонатов происходило одновременно в

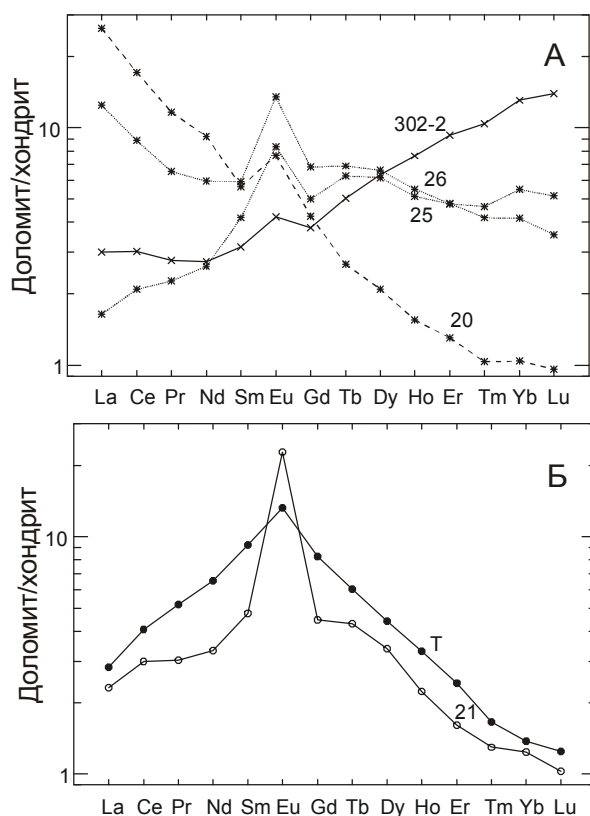


Рис. 1. Хондрит – нормализованные графики содержания РЗЭ в доломитах Берзовского месторождения: А – лестничные жилы, Б – красичные жилы.

одной флюидной системе (кварцевая жила + березит). Более поздние доломиты (условно промежуточная генерация), образующие мелкие индивиды на кристаллах кварца (№ 25, 302-2), характеризуются пониженным содержанием легких лантаноидов по сравнению с тяжелыми элементами и такой же слабой положительной аномалией по европию. По всей видимости, данные доломиты формировались в условиях обедненных легкими РЗЭ (изъятых из системы первой генерацией карбоната) в момент кристаллизации сульфидов. Более поздние кристаллы прозрачного коричневого доломита, нарастающие на горный хрусталь (№ 26), показывают уже равное отношение между лантаноидами с небольшим завышением в области церия и лантана и отчетливой положительной европиевой аномалией.

Таким образом, по данным геохимии намечилась возможность разделять доломиты из лестничных жил между собой по времени кристаллизации. В целом, по данным химического и микроэлементного состава доломиты хорошо разбраковываются по принадлежности к

лестничным или красичным жилам. Так, карбонаты красичных жил характеризуются повышенным содержанием типоморфных «ультраосновных» элементов, в то время как доломиты из лестничных жил имеют повышенные концентрации типичных элементов для кислых и средних пород. Доломиты красичных жил отличаются более стехиометричным составом, высокой магниальностью и постоянным присутствием примеси NiO. В тоже время для доломитов лестничных жил характерно аномально высокое количество CaO по сравнению с теоретическими составами (возможно за счет присутствия твердого раствора кальцита).

Авторы благодарны главному геологу Берзовской ГРП А.С. Баталину за помощь в сборе каменного материала, Д.В. Киселевой и Н.В. Чередниченко за помощь в аналитических работах.

*Исследования проведены в рамках программы «Ведущие научные школы», и гранта Минобрнауки РНП 2.1.1.1840.*

*Список литературы*

*Бакшеев И.А., Кудрявцева О.Е.* Карбонаты и светлые слюды березитов-лиственитов – индикаторы зональности Берзовского плутоногенного золоторудного месторождения, Средний Урал // *Материалы Уральской летней минералогической школы-99.* Екатеринбург, 1999. С. 294-300.

*Бородаевский Н.И., Бородаевская М.Б.* Берзовское рудное поле. М.: *Металлургиздат*, 1947. 261 с.

*Викентьева О.В.* Берзовское золоторудное месторождение на Урале: геологическое строение, минералого-геохимические особенности и условия образования. Автореф. дисс... канд. геол.-мин. наук, 2000. 31 с.

*Ерохин Ю.В., Шагалов Е.С., Киселева Д.В.* Основной и микроэлементный состав карбонатов кварцевых жил Берзовского рудного поля // *Современные проблемы геохимии. Материалы конференции молодых ученых.* Иркутск: *Изд-во Ин-та географии СО РАН*, 2007. С. 78-80.

*Сазонов В.Н.* Лиственнитизация и оруденение. М.: *Наука*, 1975. 172 с.

*Сазонов В.Н.* Березит-лиственитовая формация и сопутствующее ей оруденение. Свердловск, 1984. 207 с.