

ТИПОМОРФИЗМ ЭНДОГЕННЫХ КАРБОНАТОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ФОРМАЦИОННОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ОРУДЕНЕНИЯ

В рудах полиформационного золоторудного месторождения Задержнинское преобладают карбонаты анкерит-доломитового ряда – типоморфные минералы Au-кварцевой формации. Но в целом по развитию минеральных видов, соотношению и уровню концентрации минералообразующих элементов изученные эндогенные карбонаты близки к таковым олово-серебро-полиметаллических месторождений Западного Верхоянья. Fe-Mg двойные соли характеризуются широкой вариацией изоморфизма с сосуществованием фаз различного состава и исключительно высокой железистостью.

Ключевые слова: анкерит, сидеродолomit, изоморфизм, золоторудное месторождение Задержнинское, Южное и Западное Верхоянье.

Карбонаты, наряду с кварцем, – наиболее распространённые минералы рудных месторождений. В 1970-х годах были масштабно изучены карбонаты эндогенного оруденения Якутии различных формационных типов от кимберлитов и базальтоидов до гидротермальных месторождений олова, серебра, золота и других элементов [14]. Полученные данные позволили по развитию тех или иных минеральных видов карбонатного вещества, соотношению и уровню концентрации минералообразующих элементов (Ca, Mg, Fe, Mn) выявить типоморфные особенности карбонатов, характерные определённым формационным типам оруденения.

В продолжение этих исследований в данной работе авторы охарактеризовали карбонаты полиформационного золоторудного месторождения Задержнинское (Южно-Верхоянская металлогеническая зона Восточно-Якутского постагрегационного пояса), придерживаясь предложенной систематики и методики с использованием современных аналитических приборов. Анализ жильных карбонатов проводился термическим (термоанализатор STA449C Jupiter фирмы «NETZSCH» (Германия), скорость нагрева 10°C/мин. в инертной среде – аргон, аналитик Н.Н.Емельянова), рентгенофазовым (дифрактометр D2 PHASER фирмы Bruker (Германия), CuK α излучение, напряжение трубки 30 кВ, сила тока 10 mA, в интервале (2 θ) 4–65°, база данных PDF 2, аналитики Н.Н.Емельянова, Т.И.Васильева), рентгеноспектральным (микроанализатор Camebax-Micro, ускоряющее напряжение 20 кВ, сила тока 0,8·10⁻⁷ А, t=10 сек., аналитик Н.В.Христофорова; сканирующий электронный микроскоп фирмы JEOL JSM-6480LV, энергетический дисперсионный спектрометр Energy 350, ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 1,08 nA, t=10 сек., аналитики С.К.Попова, С.А.Карпова) методами.



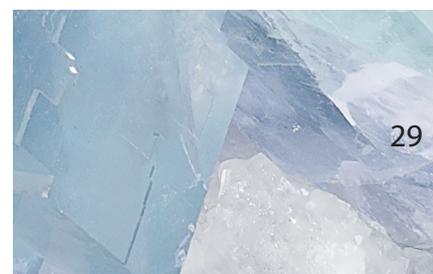
**Кондратьева
Лариса Афанасьевна**

кандидат геолого-минералогических наук
научный сотрудник
lkon12@yandex.ru

**Емельянова
Нюргустана Николаевна**

ведущий инженер

ФГБУН Институт геологии алмаза
и благородных металлов СО РАН,
г. Якутск



Месторождение находится в Аллаш-Юньском горнорудном районе Южного Верхоянья. Рудная и россыпная золотоносность известна здесь с 30-х годов прошлого века. В разное время на площади рудного поля проводились геологоразведочные работы (Ю.П.Воронин, 1967 г., В.С.Краснопольский, 1988 г., М.К.Силичев, 1993 г. и др.). В 2002–2006 гг. ООО «Артель старателей «Дражник» разрабатывала месторождение с попутной разведкой нижних горизонтов, но в связи с нерентабельностью эксплуатации (малые и невыдержанные параметры рудных тел) оно было консервировано.

Месторождение расположено на западном крыле Южно-Верхоянского синклиория. Здесь протягивается одноимённый метаморфический пояс с широко проявленным гранитоидным магматизмом ранне-позднемелового возраста среди отложений верхоянского терригенного комплекса, преобразованных в условиях серицит-хлоритовой субфации метаморфизма фации зелёных сланцев (рис. 1). Оруденение тяготеет к осевой части антиклинали север–северо-восточного простирания, ассоциирующей с надвиговыми структурами. Рудовмещающие терригенные турбидиты ранней перми представлены переслаивающимися песчанистыми алевролитами и песчаниками бонсолчанской свиты. Породы смяты в мелкие складки, осложняющие свод основной структуры, интенсивно кливажированы. В пределах месторождения широко развиты маломощные дайки диоритов, микродиоритов, диоритовых порфиритов, спессартитов и керсантитов, группирующихся в серии сближенных, иногда кулисообразно расположенных тел, приуроченных к субширотной системе разломов. На месторождении и его флангах локализованы три мелких штокообразных тела субщелочных гранитоидов и разрозненные ореолы биотит-кордиеритовых роговиков, рассматриваемые в качестве апикальных выступов погребённого интрузивного массива.

Формирование полиформационного золотого оруденения обусловлено длительно развивавшейся рудно-магматической системой и совмещением в рудных телах трёх генетически различных, полихронных типов оруденения [8, 10]. Мезотермальные Au-кварцевые руды сформировались в две стадии. Раннее стратоидное Au-As оруденение сопоставимо с добатолитовыми

гидротермально-метаморфогенными жилами юрско-буларского типа. Время образования Au-Pb-Zn руд синхронно с внедрением ранне-меловых гранитоидов Южного Верхоянья. Наложённое эпитеермальное оруденение представлено золото-редкометальной Au-Bi (Te) минерализацией, проявившейся на завершающей стадии формирования гранитоидов Южного Верхоянья, и золото-серебряной Au-Ag (Sb), сходной с таковой Нежданнинского месторождения, связанной с позднемеловым гранитоидным магматизмом.

Ранние слабозолотоносные стратоидные жилы сложены интенсивно кливажированным крупнокристаллическим кварцем с редкой вкрапленностью метакристаллов арсенопирита и пирита. Промышленная золотоносность месторождения Задержнинское связана с рудными телами секущего морфоструктурного типа, представленными крутопадающими кварцевыми жилами и минерализованными зонами дробления с телескопированным оруденением. Количество рудных минералов ~5%. Это арсенопирит, пирит, галенит, сфалерит, самородное золото, электрум, реже встречаются халькопирит и пирротин. Золото-редкометальная ассоциация характеризуется наличием самородного висмута, висмутина, хедлейита, сульфотеллуридов Bi, минералов группы густавита и вторичных минералов – оксидов и теллуридов Bi с низкопробным (740–760‰) золотом. Индикаторными минералами Au-Ag (Sb) ассоциации являются Hg-содержащие электрум и кюстелит, Ag-Sb и Ag-Pb-Sb сульфосоли, штютцит, Te-Pb-содержащий канфильдит, фрейбергит, сульфиды Au и Ag.

Карбонаты, широко распространённые на месторождении, присутствуют в виде прожилков, гнёзд и отдельных зёрен в кварце. Исследовано >50 образцов руд различного текстурно-структурного облика, представляющих пять типов гидротермальных образований:

- 1) дорудные жилы;
- 2) мезотермальное Au-кварцевое оруденение:

 - 2) стратоидное с Au-As минерализацией,
 - 3) Au-полисульфидное секущего типа;

- 3) Au-кварцевое с наложенным эпитеермальным Au-редкометальным и Au-серебряным оруденением:

 - 4) прожилково-жильное, часто сопровождаемое дайками спессартитов,
 - 5) прожилково-вкрапленное в минерализованных зонах дробления.

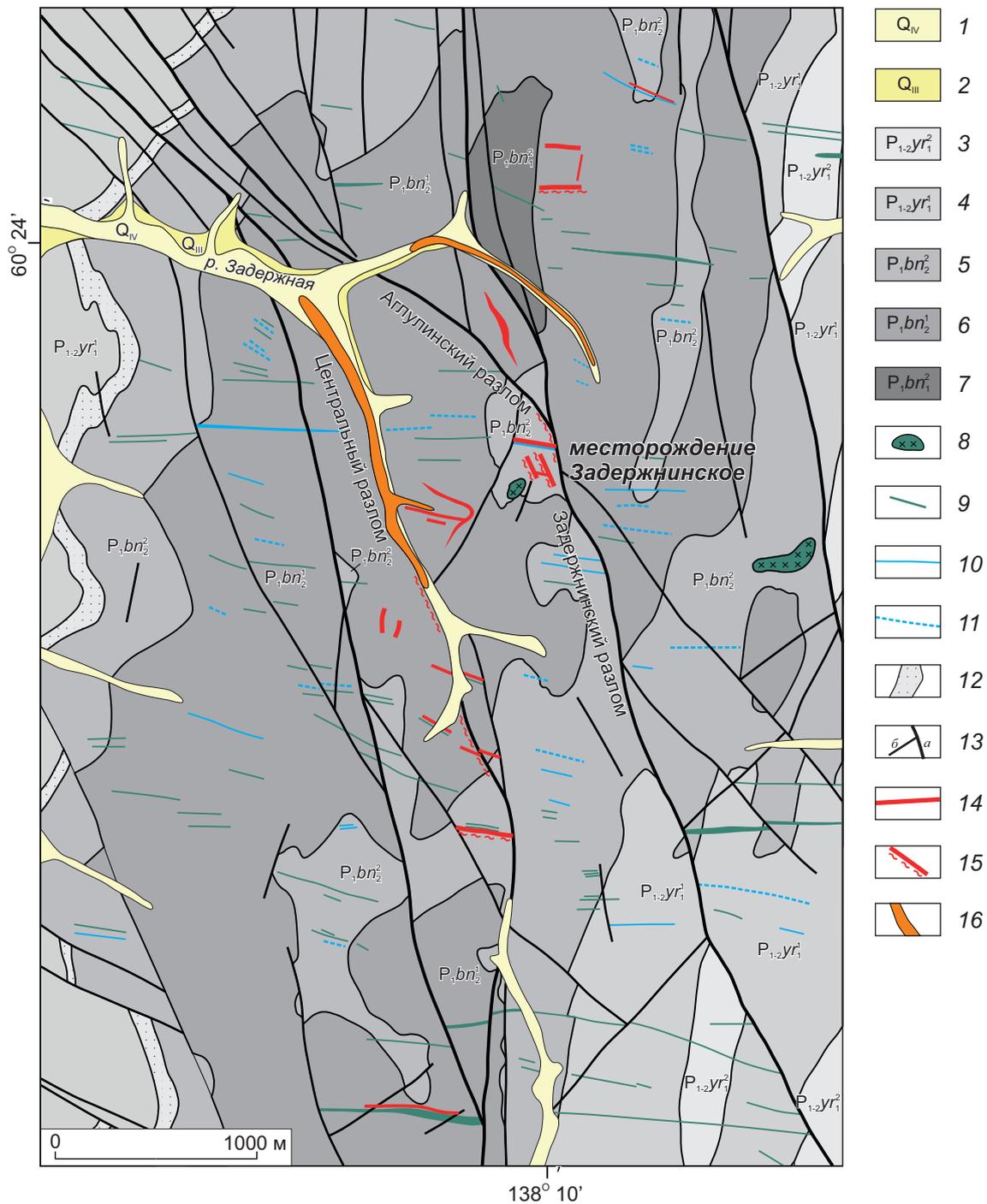


Рис. 1. ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЗАДЕРЖИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ:

четвертичные отложения: 1 – современное звено, 2 – верхнее звено; отложения ырчакской свиты: 3 – нижняя подсвита, вторая пачка, 4 – нижняя подсвита, первая пачка; отложения бонсолчанской свиты: 5 – верхняя подсвита, вторая пачка, 6 – верхняя подсвита, первая пачка, 7 – нижняя подсвита, вторая пачка; 8 – штоки диоритов; 9 – дайки диоритов, диоритовых порфиров и микродиоритов; 10 – дайки спессартитов; 11 – дайки керсантитов; 12 – маркирующие горизонты песчаников; 13 – разрывные нарушения (a – главные, б – второстепенные); 14 – кварцевые жилы; 15 – минерализованные зоны дробления; 16 – россыпи

1. МИНАЛЬНЫЙ СОСТАВ КАРБОНАТОВ ЗАДЕРЖНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, МОЛ. %

Номера проб/анализов	Типы гидротермальных образований	Минералы	CaCO ₃	FeCO ₃	MgCO ₃	MnCO ₃	SrCO ₃		
110-ЛК-06/4-2*	Дорудные жилы	Кальцит I	95,30	1,92	1,48	0,80	0,51		
108-ЛК-06/6		Кальцит I	94,91	0,06	4,60	0,33	0,10		
С-54а-1/4-2*		Сидерит	0,30	90,73	8,39	0,58	-		
С-54а-1/4-4*		Мг-сидерит	1,99	79,65	17,85	0,51	-		
104-ЛК-06/5-10*		Сидерит	1,33	90,53	7,57	0,57	-		
104-ЛК-06/5-5*		Мг-сидерит	0,29	64,97	34,03	0,65	0,07		
104-ЛК-06/3-7*		Fe-доломит	52,13	21,29	26,32	0,26	-		
36-ЯС/3	Мезотермальное Au-кварцевое оруденение	Fe-доломит	49,34	22,73	26,80	0,95	0,19		
36-ЯС		Стратоидные жилы	Мг-анкерит	50,57	27,22	20,78	0,86	0,56	
2-АН-06/2-1*			Мг-анкерит	50,61	25,92	22,75	0,34	0,37	
116-2-ЛК-06/2			Fe-доломит	49,10	15,32	33,96	0,62	1,01	
К-211-1/4-1		Секущие жильные зоны	Кальцит I	97,08	0,18	2,26	0,49	-	
К-320/20-10*			Кальцит I	93,25	3,65	3,10	-	-	
К-211-1/5-4			Fe-доломит	49,05	13,31	36,73	0,35	0,56	
К-320/19-6*			Мг-анкерит	50,01	26,81	22,18	1,00	-	
К-320/14-3*			Fe-доломит	51,22	20,48	28,24	0,06	-	
23-АН-06/1-4*			Мг-анкерит	52,27	25,96	20,54	0,80	0,43	
23-АН-06/6-2			Fe-доломит	49,07	19,64	30,09	0,99	0,21	
К-308/5			Мг-анкерит	52,89	23,66	21,52	1,60	0,34	
К-409/3-1*			Мг-анкерит	49,17	33,10	17,09	-	0,64	
К-409/4-6*			Fe-доломит	49,04	16,67	32,65	1,37	0,26	
К-507-17-2/5-7*			Мг-анкерит	51,32	27,55	19,78	1,35	-	
К-507-17-2/5-2*			Fe-доломит	47,46	17,51	33,17	1,18	0,68	
Штр. 4-15-1/2-2*			Мг-анкерит	47,67	33,71	17,76	0,04	0,82	
Штр. 4-15-1/2-5*			Fe-доломит	49,36	16,48	32,69	0,92	0,55	
С8-32/3-2*			Fe-доломит	51,08	23,06	25,86	-	-	
С8-32/7-3*			Fe-доломит	51,03	11,88	36,79	-	0,30	
С7-30/5-11*			Мг-анкерит	50,94	28,43	19,12	0,57	0,93	
С7-30/2-11*			Fe-доломит	50,04	15,41	32,73	1,25	0,58	
С39-192,9/3-3			Fe-доломит	49,42	20,47	28,74	0,69	0,69	
К-320/7-1*			Секущие жильные зоны	Мн-сидерит	14,49	63,21	3,75	18,55	-
К-320/7-2*				Мн-сидерит	6,61	63,98	3,61	25,79	-
13-ЯС/8-2		Кальцит II		94,66	0,16	0,23	0,03	4,91	
Штр. 5-97/3		Кальцит II		97,10	0,16	0,20	0,04	2,50	
6-ЯС/1		Fe-доломит		49,13	18,52	30,92	0,75	0,68	
8-ЯС/5-2		Fe-доломит		48,90	19,06	30,54	0,82	0,68	
11-ЯС/2		Fe-доломит		50,50	19,40	28,55	1,05	0,50	
13-ЯС/8-1		Fe-доломит		50,53	17,10	30,55	0,99	0,84	
17-ЯС/3-2		Fe-доломит		50,69	16,70	30,66	1,05	0,91	
22-ЯС/3-4		Fe-доломит		48,86	21,98	27,62	0,81	0,73	
24-ЯС/5-2	Fe-доломит	50,81		18,88	28,48	1,03	0,80		
Штр. 4бис-0-1/3-2	Fe-доломит	50,23		21,40	27,24	0,70	0,43		
Штр. 5-80-2/8-2*	Fe-доломит	52,20		21,05	25,86	0,60	0,30		
Штр. 5-97-2/1-1	Fe-доломит	49,56		18,66	30,30	0,86	0,62		
Штр. Ю-22/1-3	Fe-доломит	51,41		15,62	31,50	1,15	0,31		
Уч. 8-К-3-5/1-2*	Fe-доломит	51,09		12,76	35,11	0,57	0,47		
Штр. 1-0/1-1	Минерализованные зоны дробления	Кальцит II		96,30	0,06	1,33	0,25	2,06	
Штр. 1-19-2/2-1*		Кальцит II		97,49	1,04	0,39	-	1,09	
В1-1/1-4*		Fe-доломит		51,12	20,55	28,33	-	-	
В1-3/1-5*		Fe-доломит		52,20	13,46	34,34	-	-	
В16-1-3/2-2*		Fe-доломит		49,95	19,56	29,40	0,47	0,62	
С61-10/4-2*		Fe-доломит	50,01	22,11	26,72	0,47	0,69		
42-ЯС/3-4*		Fe-доломит	50,21	19,64	30,15	-	-		
Штр. 1-0/3-4		Fe-доломит	49,11	19,00	30,19	1,07	0,63		
Штр. 1-19-2/1-1		Fe-доломит	48,19	24,33	26,35	0,65	0,48		
Рсч. 1-2/1		Доломит	51,15	7,85	40,62	0,11	0,27		
Рсч. 1-2/7-5		Fe-доломит	47,75	21,56	29,34	0,74	0,62		
Укл. 66-1/2-1		Fe-доломит	48,58	15,18	34,19	2,05	-		

Примечание. Пробы исследованы методом рентгеноспектрального анализа на сканирующем электронном микроскопе фирмы JEOL JSM-6480LV (*) и микроанализаторе Camebax-Micro.

Содержание карбонатов в разных типах руд варьирует: в ранних стратоидных жилах концентрация минимальная (до 5%), в крутопадающих – 5–15%, в минерализованных зонах дробления – до 50%. Как показал рентгеноспектральный анализ, карбонаты месторождения отличаются относительно широким видовым составом, представлены сидеродоломитом, магнезиоанкеритом, кальцитом, магнезиосидеритом, сидеритом и мангансидеритом (табл. 1). Содержания и соотношения в них изоморфных примесей приведены ниже при рассмотрении последовательности образования.

Дифференциальным термическим анализом (ДТА) подтверждается разнообразие карбонатных минералов и подчёркиваются особенности их химического состава (рис. 2). В основе метода ДТА – различия температур диссоциации солей CO_2 (табл. 2). Как видно из таблицы, температура эндоэффектов в кальцитах соответствует стандартной. В сидерите пик смещён в направлении повышения температуры по причине значительной концентрации в нём изоморфной примеси MgCO_3 (7,57 мол. %) [13]. Термические эффекты двойных солей ряда доломит – анкерит, напротив, наблюдаются при несколько заниженных температурах, что объясняется высоким содержанием Fe в минералах [16]. На кривых ДТА анкеритов, диагностируемых по характерному третьему эндотермическому эффекту, и доломитов значительная концентрация Fe также фиксируется по большей потере веса при первой реакции, чем при второй и третьей [15]. Кроме того, на кривых разложения наиболее железистых Mg-анкеритов (обр. 2-АН-06, В-16-1-3 и др.) между первым и вторым эндопиками отмечается экзотермический эффект.

Другой физический метод изучения карбонатов – рентгенофазовый анализ, выполненный методом порошка. Полученные дифрактограммы, как и следовало ожидать, отличаются от стандартных [1] из-за нестехиометричности состава. Межплоскостные расстояния d_{104} кальцита (3,02 Å) и сидерита (2,775 Å) смещены в сторону уменьшения от эталонных (соответственно, 3,036 и 2,79 Å), вследствие присутствия в них изоморфной примеси Mg [17].

И.Г.Демчук [5] выявлена прямая зависимость межплоскостного расстояния d_{104} в железистых доломитах от содержания изоморфного желе-

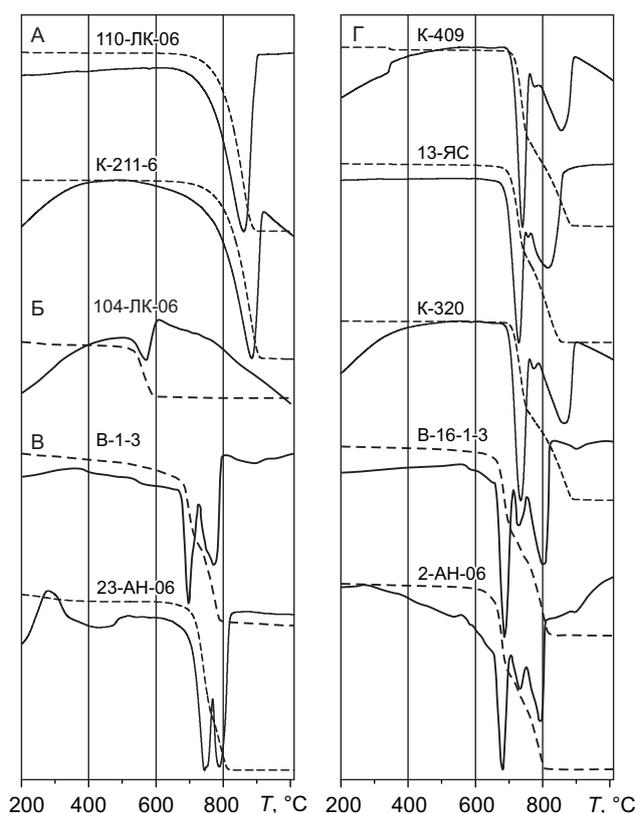


Рис. 2. ТЕРМОГРАММЫ КАРБОНАТОВ ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАДЕРЖНИНСКОЕ:

А – кальцит; Б – сидерит; В – доломит; Г – анкерит; штриховая линия – кривая потери веса

за, замещающего магний в кристаллической решётке, что обусловлено увеличением параметров решётки (рис. 3). Так, d_{104} с увеличением содержания FeO от 0,2 до 14 мас. % изменяется от 2,886 до 2,898 Å. Положение главной диагностической линии более железистых карбонатов доломит-анкеритового ряда месторождения Задержнинское отвечает значениям 2,898–2,899 Å (табл. 3), что соответствует установленной зависимости и подтверждает данные термического и рентгеноспектрального анализов анкерита в обр. К-409 и 2-АН-06. Рефлексы d_{113} и d_{116} также близки линиям анкерита, а не доломита.

Обобщая сведения по диагностике карбонатов, можно отметить хорошую сходимую и взаимодополняемость результатов, полученных разными физико-химическими методами.

Образование карбонатов на месторождении происходило на всём протяжении гидротермального процесса. Условно их можно подразделить

2. ТЕМПЕРАТУРЫ ДИССОЦИАЦИИ КАРБОНАТОВ

Минералы	Реакция	Температура	
		измеренная	стандартная [15]
Кальцит	$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	853,1–882,8	800–950
Сидерит	1а. $\text{FeCO}_3 \rightarrow \text{FeO} + \text{CO}_2$	570,7	500–550
	1б. $2\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ (экзоэффект)	608,8	
Доломит	1. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{MgO} + \text{CO}_2$	686,6–755,1	750–800
	2. $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	761,3–825,6	840–950
Анкерит	1а. $\text{Ca}(\text{Mg,Fe})(\text{CO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{MgO} + \text{FeO} + \text{CO}_2$	672,1–722,2	700–770
	1б. $2\text{FeO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$ (экзоэффект)	696,7–739,1	
	2. $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5 + 2\text{CO}_2$	718,0–758,7	750–800
	3. $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	760,8–846,6	850–950

3. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖПЛОСКОСТНЫХ РАССТОЯНИЙ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЁТКИ КАРБОНАТОВ ДОЛОМИТ-АНКЕРИТОВОГО РЯДА ОТ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА

Образцы	$d_{104}, \text{Å}$	$d_{113}, \text{Å}$	$d_{116,009}, \text{Å}$	FeO, мас. %	FeCO ₃ , мол. %	Минералы
Стандарт	2,886	2,192	1,786–1,781	0,22		Доломит
Данные [по 5]	2,886			0,2		Доломит
	2,889			4,0; 4,3		Fe-доломит
	2,892			6,1; 7,2		Fe-доломит
	2,894			8,3; 10,5		Fe-доломит
	2,895			11,0		Fe-доломит
	2,898			14,0		Fe-доломит
В-1-3	2,898	2,199	1,793	$\frac{9,76-14,04}{12,78}$ (7)	$\frac{13,46-19,33}{17,53}$	Fe-доломит
13-ЯС	2,898	2,199	1,793	$\frac{6,9-15,3}{12,72}$ (23)	$\frac{9,38-21,16}{17,62}$	Fe-доломит
24-ЯС	2,898	2,199	1,793	$\frac{13,66-14,25}{13,91}$ (4)	$\frac{18,88-19,83}{19,38}$	Fe-доломит
11-ЯС	2,898	2,200	1,793	13,82	19,40	Fe-доломит
В-1-1	2,898	2,200	1,793	$\frac{14,4-14,62}{14,51}$ (2)	$\frac{19,94-20,55}{20,24}$	Fe-доломит
В-16-1-3	2,898	2,200	1,794	$\frac{13,34-17,15}{14,69}$ (18)	$\frac{18,60-24,68}{20,48}$	Fe-доломит – Mg-анкерит
К-409	2,899	2,200	1,794	$\frac{12,32-22,79}{17,21}$ (19)	$\frac{16,67-33,10}{24,30}$	Fe-доломит – Mg-анкерит
2-АН-06	2,899	2,200	1,794	18,36	25,92	Mg-анкерит
Стандарт	2,899	2,199	1,792	12,06	16,6	Анкерит

Примечание. В числителе – пределы колебаний, в знаменателе – среднее содержание, в скобках – число анализов.

на дорудные, раннерудные, позднерудные. Дорудные карбонаты представлены кальцитом и в основном распространены на флангах рудного поля вне связи с рудоносными структурами в карбонат-кварцевых лестничных жилах, реже в виде мономинеральных прожилков в песчаниках. Кальцит содержит до 4,6% магнетитового минала и до 1,9% сидеритового. Единичные проявления сидерита наблюдались на южном фланге месторождения в карбонат-хлорит-кварцевых жилах и условно отнесены к дорудным. Сидерит

встречается в виде мелких зёрен в сидеродолomite или образует тонкую вкрапленность в крупнокристаллическом кварце, от чего последний приобретает густую бурую окраску. Карбонат содержит значительную концентрацию магнетитового минала от 7 до 34%, что позволяет различать собственно сидерит и Mg-сидерит (сидероплезит 17,85 и пистомезит 34,03% MgCO_3).

Раннерудные карбонаты Au-кварцевых руд как стратоидных, так и крутопадающих тел представлены высокожелезистыми двойными соля-

Строение рудных месторождений

ми ряда доломит – анкерит генерации I крайне неравновесного состава (табл. 4). По соотношению Fe и Mg по принятой систематике [14] минералы определены как сидеродоломит и магниоанкерит. Минералы отличаются широкими вариациями изоморфизма и сосуществованием фаз различного состава. В табл. 1 приведены крайние члены изоморфного ряда. Двойные соли характеризуются зональным и неяснозональным распределением фазового состава (рис. 4, а, в). Кальцит встречается очень редко, только в кварцевожильном секущем типе, и содержит до 3,65% сидеритового минерала и до 3,1% магниезитового.

Позднерудные карбонаты месторождения в рудах с наложенным эпitherмальным оруденением представлены сидеродоломитами генерации

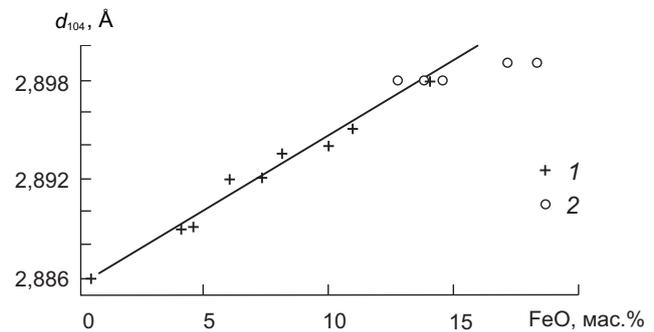


Рис. 3. ГРАФИК ЗАВИСИМОСТИ МЕЖПЛОСКОСТНОГО РАССТОЯНИЯ d_{104} (Å) ОТ СОДЕРЖАНИЯ ЖЕЛЕЗА В КАРБОНАТАХ ДОЛОМИТ-АНКЕРИТОВОГО РЯДА, ПО И.Г.ДЕМЧУК [5]:

1 – данные по [5]; 2 – данные авторов

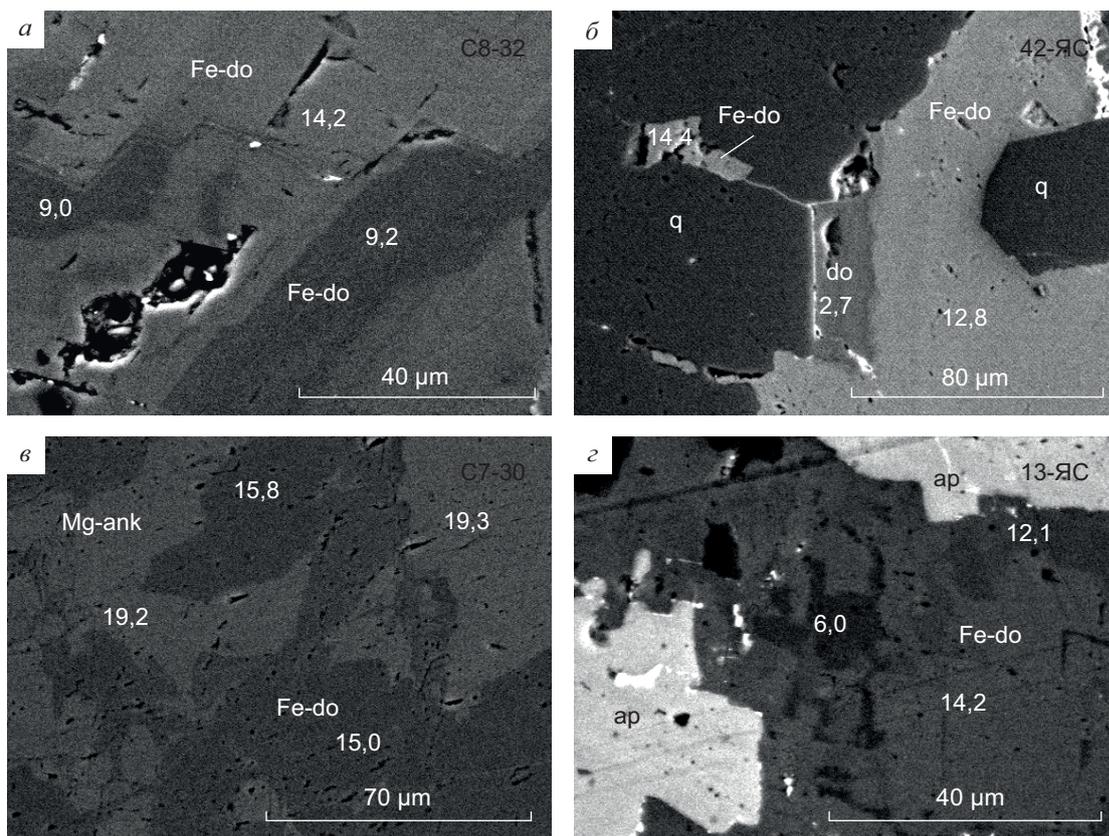


Рис. 4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА КАРБОНАТОВ ДОЛОМИТ-АНКЕРИТОВОГО РЯДА ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАДЕРЖНИНСКОЕ:

а, б – зональное; в, г – неяснозональное; Fe-do – сидеродоломит, Mg-ank – магниоанкерит, do – доломит, ap – апатит, q – кварц; цифрами дано содержание FeO, мас. %

4. МИНАЛЬНЫЙ СОСТАВ КАРБОНАТОВ РЯДА ДОЛОМИТ – АНКЕРИТ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ОРУДЕНЕНИЯ

Составы	Мезотермальное Au-кварцевое оруденение		Мезоэпитермальное оруденение	
	Стратоидные жилы (n=8)	Жильные зоны (n=112)	Жильные зоны (n=68)	Минерализованные зоны дробления (n=65)
FeCO ₃	$\frac{12,86-27,22}{20,74}$	$\frac{11,88-33,71}{22,29}$	$\frac{9,30-25,03}{18,63}$	$\frac{7,85-24,68}{18,63}$
MgCO ₃	$\frac{20,78-36,72}{27,66}$	$\frac{17,09-37,80}{26,83}$	$\frac{24,52-37,88}{29,95}$	$\frac{24,22-40,72}{30,27}$
MnCO ₃	$\frac{0,34-1,60}{0,80}$	$\frac{0-1,64}{0,60}$	$\frac{0-2,59}{0,88}$	$\frac{0-2,85}{0,68}$

Примечание. В числителе пределы колебаний, в знаменателе среднее содержание, n – число анализов.

II с различным соотношением сидеритового и магнетитового миналов (см. рис. 3, б, г). В целом также отличаются повышенной железистостью. Карбонаты находятся в ассоциации с поздними сульфидами, сульфосолями и электрумом, часто совместно с апатитом и серицитом. Существенных различий между сидеродоломитами из руд жильно-прожилкового типа и минерализованных зон дробления не выявлено (см. табл. 4). Однако в последних чаще встречаются сидеродолмиты с относительно низкой концентрацией FeO, вплоть до собственно доломита (FeO 5,81 мас. %, или 7,85 мол. %), отмеченного в руде брекчиевой текстуры в ассоциации с кюстелитом и сульфидами Au и Ag. В зонах дробления, по-видимому, встречаются и более низкожелезистые доломиты, содержащие 2,29–3,37 мас. % FeO (см. рис. 3, б), а также сидериты (FeO 56,92 мас. %) и магнетитосидериты (FeO 36,64 мас. %, MgO 13,27 мас. %), но недостаток суммарного содержания (90–94%) не позволил принять их в расчёт. Несомненно, поздним является мангансидерит (родохрозитовая составляющая достигает 25,79%), образующий тонкие просечки в сидеродолмите генерации I.

Наряду с упомянутыми карбонатами, на заключительном этапе гидротермального процесса отлагался кальцит генерации II. Сравнение состава одновременных кальцитов показывает существенное обеднение позднего кальцита Mg, Fe, Mn и резкое обогащение Sr (до 4,9 мол. % SrCO₃) относительно раннего (0–0,5 мол. % SrCO₃). Стронций в карбонатах изоморфно замещает кальций [6], а повышенная стронциенность характерна для карбонатов из участков с интенсивной метасоматической проработкой по-

род, при которой происходит накопление элемента в растворе.

Проведёнными исследованиями установлена следующая последовательность образования карбонатов: дорудные жилы – кальцит I, сидерит-магнетитосидерит (?) → мезотермальное Au-кварцевое оруденение – магнетитосидерит-сидеродолмит I → телескопированные мезоэпитермальные руды – сидеродолмит-доломит II, мангансидерит, сидерит-магнетитосидерит, кальцит II. При этом резко преобладают Fe-Mg двойные соли при ограниченной роли остальных карбонатов. Выявлено относительное снижение железистости карбонатов в процессе минералообразования. Смена минеральных видов карбонатного вещества, соотношений в них минералообразующих элементов, парагенезисов рудных минералов, безусловно, отражают изменение условий рудообразования. Высокая железистость карбонатов свидетельствует о повышенной кислотности среды минералообразования [12]. По КР-спектроскопическим данным газовая составляющая флюидных включений кварцевых жил месторождения представлена почти исключительно CO₂ (93–100 мол. %); примеси CH₄ (до 2 мол. %) и N₂ (до 5,9 мол. %) появляются на поздних этапах оруденения, характеризующихся также относительным снижением температур гомогенизации [9].

Сопоставление результатов исследований со сведениями по карбонатам других золоторудных месторождений Южного Верхоянья выявило их принципиальное отличие. На месторождении Юр карбонат в жильном кварце пластовых тел диагностирован как кальцит [14]. Карбонаты Неждановского месторождения, по данным В.А.Аму-

5. МИНАЛЬНЫЙ СОСТАВ АНКЕРИТОВ ОЛОВО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ ЗАПАДНО-ВЕРХОЯНСКОГО РАЙОНА

Месторождения	CaCO ₃	FeCO ₃	MgCO ₃	MnCO ₃	Источник
Кельтерское	53,92	28,82	16,40	0,86	[7]
Чочимбальское	56,02	23,70	19,02	1,26	
Эчийское	56,00	22,60	20,14	1,26	
Нунандинское	51,74	25,30	22,84	0,11	[14]
Хобоятинское	55,03	23,76	19,01	2,20	
Аркачан	49,45	27,18	22,66	0,57	[4]
	49,27	24,57	25,34	0,82	
	50,01	36,06	13,04	0,89	

зинского [14], Г.Н.Гамянина, В.В.Алпатова [3], представлены доломитом и крайне редко низкожелезистым сидеродоломитом. Данные по концентрации в них родохрозитового минала разнятся от 0,29–2,10 [по 14] до 0,01–0,03 мас. % [по 3].

Типоморфный карбонат мезотермального Au-кварцевого оруденения Верхне-Индибирского, Куларского горнорудных районов и Западного Верхоянья – сидеродоломит [14], что согласуется с полученными данными по раннерудным карбонатам. Отличие состоит в исключительно высокой железистости изученного сидеродоломита, вплоть до появления Mg-анкерита. Достоверные находки анкерита в месторождениях Якутии весьма редки. Минерал установлен в полисульфидно-карбонатных ассоциациях касситерит-сульфидных и серебро-полиметаллических руд Западного Верхоянья [7, 14] (табл. 5), известны они и на Нежданинском месторождении, но развиты в дорудных березитах и жилах [3].

Полиформационный телескопированный характер оруденения поздних этапов формирования месторождения Задержнинское, несомненно, вносит трудности не только в выяснение последовательности образования карбонатов, что, как отмечалось, сделано с некоторой долей условности, но и при отнесении их к определённым формационным типам. Особенно это касается золото-редкометального оруденения, где непосредственных взаимоотношений карбонатов с минералами висмута не выявлено. В рудах комплексной редкометально-кварцевой форма-

ции Янской синклинали зоны также широко развиты Fe-доломиты, но при этом доминирует кальцит, редко встречается Mg-сидерит. По данным Г.Н.Гамянина [11], на месторождениях висмутового типа Эргелях и Чугулук иммерсионным методом диагностирован анкерит.

Карбонаты Au-Ag формации Верхояно-Колымской складчатой области на 80–90% представлены кальцитом. На месторождении Задержнинское с минералами серебра ассоциируют относительно низкожелезистый сидеродоломит и собственно доломит, что характерно для Нежданинского месторождения. Наиболее позднее, завершающее процесс формирования Задержнинского месторождения, золото-серебряное оруденение существенно отличается от типичных золото-серебряных формаций вулканогенного типа, и в целом названо так по минералого-геохимическим признакам. Возможно, золото-серебряное оруденение месторождения – продукт наложения олово-серебряной минерализации на ранее сформированное Au-кварцевое оруденение с привнесом серебра и сурьмы, что обусловило образование золото-серебряных парагенезисов, развивающихся за счёт ранних золотых руд. Это подчёркивается появлением в рудах канфильдита, разнообразных сульфосолей сурьмы и серебра, снижением пробности самородного золота до электрума и кюстелита. Скорее всего, это парагенезис заключительных этапов, который проявился в связи с поздне-меловым магматизмом, как и на Нежданинском месторождении, где на ранние золото-пирит-арсенопиритовые руды наложена Sn-Ag минерализация [2].

Полученный материал во многом перекликается со сведениями по Au-Bi-сидерит-сульфидному оруденению месторождения Аркачан [4] оловоносного Западно-Верхоянского района, где выявлена такая последовательность отложения карбонатов: гидротермально-метаморфогенный этап – анкерит I; золоторудный (с минералами висмута в поздних ассоциациях) – Mg-сидерит I, анкерит II; серебро-полиметаллический – Mn-сидерит II (Mn 9–11 мас. %) и серебро-сурьмяный – кальцит.

В рудах полиформационного золоторудного месторождения Задержнинское преобладают карбонаты анкерит-доломитового ряда – типоморфные минералы Au-кварцевой формации. Но

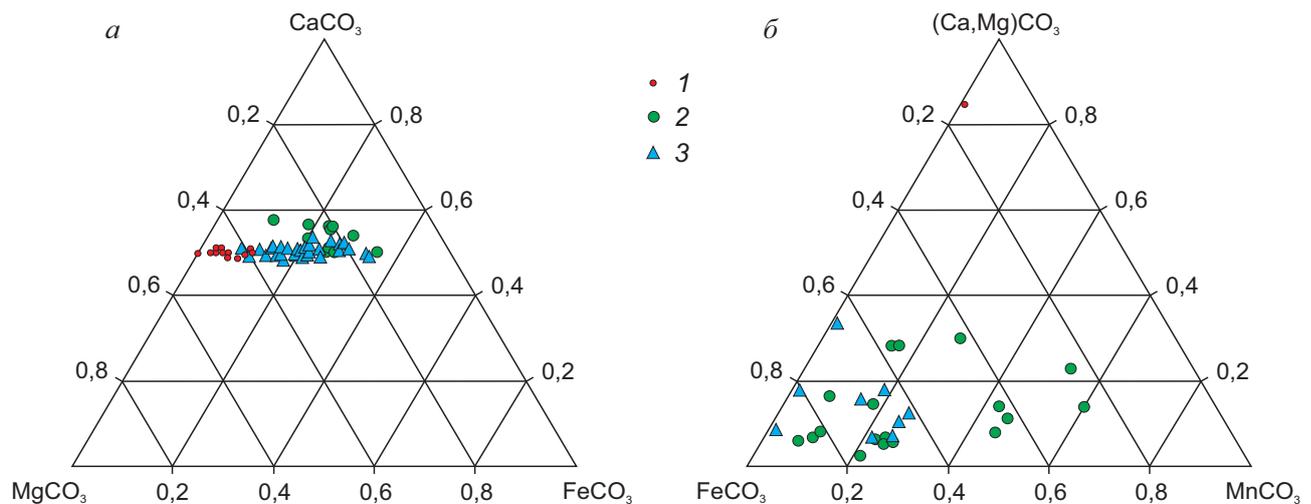


Рис. 5. ДИАГРАММЫ СОСТАВА КАРБОНАТОВ:

a – доломит-анкеритового ряда; *б* – сидерит-магнетит-родохрозитового ряда; месторождения: 1 – Нежданинское, 2 – олово-серебро-полиметаллические Западного Верхоянья, 3 – Задержнинское

в целом по развитию минеральных видов, соотношению и уровню концентрации минералообразующих элементов изученные эндогенные карбонаты близки таковым олово-серебро-полиметаллических месторождений Западного Верхоянья (рис. 5).

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2016-0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Е.К., Васильева Н.П. Рентгенографический определитель карбонатов. – Новосибирск: Наука, 1980.
2. Высокопродуктивные этапы базитового и гранитоидного магматизма Северной Азии, оценка их ресурсного потенциала, научное обоснование критериев прогноза и поисков крупных месторождений (Cu-Ni-Pt, Co, Au и редкие металлы) / А.С.Борисенко, А.М.Спиридонов, А.Э.Изох и др. // Проблемы минералогии России. М., 2012. С. 237–252.
3. Гамянин Г.Н., Бортников Н.С., Алпатов В.В. Нежданинское золоторудное месторождение – уникальное месторождение Северо-Востока России. – М.: ГЕОС, 2000.
4. Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Бортников Н.С. Аркачан – новый золото-висмут-сидерит-сульфидный тип месторождений в оловоносном Западно-Верхоянском районе (Якутия) // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 6. С. 513–545.
5. Демчук И.Г. Рентгеноструктурное исследование железистых доломитов из нижнего рифея на Южном Урале // Ежегодник-1980 (Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР). Свердловск, 1981. С. 131–132.
6. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 5. – М.: Мир, 1966.
7. Индолев Л.Н., Невойса Г.Г. Серебро-свинцовые месторождения Якутии. – Новосибирск: Наука, 1974.
8. Кондратьева Л.А. Закономерности локализации, минералого-геохимические особенности и возраст золотого оруденения месторождения Задержнинское (Южное Верхоянье): Автореф. дисс... канд. геол.-минер. наук. – Новосибирск, 2013.
9. Кондратьева Л.А. Рудообразующие флюиды золотого оруденения месторождения Задержнинское (Южное Верхоянье) // Мат-лы XV Всеросс. конф. по термобарогеохимии. М., 2012. С. 39–40.
10. Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С., Холмогоров А.И. Структура и минералогия Задержнинского золоторудного поля // Отч. геология. 2005. № 5. С. 23–28.
11. Позднемезозойский магматизм и золотое оруденение Верхне-Индибирского района / Отв. ред. И.С.Рожков. – М.: Наука, 1971.
12. Сазонов В.Н., Поленов Ю.А., Огородников В.Н. Карбонаты метасоматитов золоторудных месторождений и их индикаторная роль // Мат-лы XI съезда РМО. С-Пб., 2010. С. 257–258.
13. Цветков А.И., Вальяшихина Е.П., Пилюян Г.О. Дифференциальный термический анализ карбонатных минералов. – М.: Наука, 1964.

14. Эндогенные карбонаты Якутии / Отв. ред. В.В.Ковальский. – Новосибирск: Наука, 1980.
15. Földvari M. Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice // Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary. 2011. Vol. 213.
16. Kulp J.L., Kent P., and Kerr P.F. Thermal study of the Ca-Mg-Fe-carbonate minerals // Amer. Mineralogist. 1951. Vol. 36. № 9–10. P. 643–671.
17. Rosenberg P.E. Synthetic solid solutions in the systems $MgCO_3$ - $FeCO_3$ and $MnCO_3$ - $FeCO_3$ // Amer. Mineralogist. 1963. Vol. 48. № 11–12. P. 1396–1400.

TYPOMORPHISM OF ENDOGENOUS CARBONATES AS AN INDICATOR OF THE FORMATION TYPE OF MINERALIZATION

L.A.Kondratieva, N.N.Yemelyanova

The carbonates of the ankerite-dolomite series, typomorphic minerals of the Au-quartz formation, predominate in the ores of the Zaderzhninskoe polyformational gold deposit. But in general, the development of mineral species, the ratio and concentration level of mineral-forming elements, the endogenous carbonates studied are similar to those of the tin-silver-polymetallic deposits of the Western Verkhoyansk region. Fe-Mg double carbonates are characterized by a wide variation of isomorphism with the coexistence of phases of different composition and extremely high iron content.

Keywords: ankerite, ferrous dolomite, isomorphism, Zaderzhninskoe gold deposit, Southern and Western Verkhoyansk region.