

Санкт-Петербургский государственный университет

МЕЛЬЯНЦОВ Никита Олегович

Выпускная квалификационная работа

Карбонатные марганцевые руды месторождения Жомарт

Основная образовательная программа бакалавриата
«Геология»

Научный руководитель: к.г.-м.н.,
ст. преп. ПЕРОВА Елена Николаевна

Рецензент: к.г.-м.н.,
ст. науч. сотрудник СТАРИКОВА Елена Вячеславовна

Санкт-Петербург

2018

Содержание:

Введение	3
Глава 1. Геологическое строение месторождения Жомарт	4
Глава 2. Минеральные ассоциации	9
Глава 3. Характеристика минералов	11
3.1. Карбонаты	11
3.2. Слоистые минералы	24
3.3. Второстепенные минералы	28
Глава 4. Условия образования руд	31
Заключение	34
Литература	35

Введение

Месторождение Жомарт в Казахстане является очень интересным объектом с точки зрения минералогии. На данный момент оно не достаточно изучено, в своей дипломной работе я постараюсь исправить этот недостаток.

Целью моей работы является изучение минералогии карбонатных марганцевых руд месторождения Жомарт.

Задачи:

- 1) Диагностика породобразующих и второстепенных минералов (выяснение структурных особенностей и химического состава);
- 2) Выделение основных минеральных ассоциаций и парагенезисов;
- 3) Условия образования данных руд.

Актуальность моей дипломной работы заключается в том, чтобы восполнить пробелы в исследованиях месторождения Жомарт. На данный момент подробное изучение его минералогии проводилось только Марией Михайловной Каюповой в далёком 1974 году.

В своей работе я применяю преимущественно современные методы для изучения карбонатных марганцевых руд Жомарта. А именно:

- 1) Минералого-петрографическое описание;
- 2) Рентгенофазовый анализ;
- 3) Энерго-дисперсионный анализ.

Минералого-петрографическое исследование шлифов карбонатных марганцевых пород проведено на кафедре минералогии СПбГУ при помощи оптического микроскопа Leica. Рентгено-фазовый анализ был проведён в РЦ «Рентгенографические методы исследования» СПбГУ при помощи рентгеновского дифрактометра Mini Flex II. Исследование химического состава исследуемых минералов было сделано в Ресурсных центрах СПбГУ «Микроскопии и микроанализа» и «Геомодель» с помощью электронного сканирующего микроскопа с анализатором Hitachi.

Глава 1. Геологическое строение месторождения Жомарт

Жомартская группа месторождений расположена в западной части Атасуйского района, который, в свою очередь, находится в пределах юго-западного сектора девонского вулканического пояса в Центральном Казахстане. Атасуйский рудный район представлен Жаильминской синклиной структурой, сложенной органогенно-терригенно-хемогенными и в меньшей степени вулканогенными образованиями верхнего девона и нижнего карбона (рис. 1, 2).

В состав Жомартской группы входят такие месторождения, как Жомарт, Тамара и ряд рудопроявлений, например, Атайка, Промежуточное, Бузгуль и другие. Жомарт – это наиболее крупное и разведанное в этой группе месторождение. Расположено оно к западу от горы Каражала. Жомарт был выявлен в ходе геофизических исследований в 1945 году (А. В. Строителяева и др.), разведывался с 1947 по 1959 год под руководством С. В. Кузембаева, К. М. Алексеевского и А. А. Рожнова.

Рассмотрим подробнее геологическое строение месторождения Жомарт. Оно приурочено к Жомартской синклинали второго порядка, осложняющей юго-западное крыло Жаильминского синклинория. Рудное поле сформировано морскими, преимущественно карбонатными отложениями верхнего девона (фаменский ярус) и нижнего карбона. Породы фаменского яруса в пределах месторождения чётко подразделяются на два подъяруса: нижний мощностью 100 – 300 м, представленный чёрными карбонатными отложениями с примесью глинистого материала, и верхний мощностью до 330 м, сложенный кремнисто-карбонатными породами с пластами и линзами руд железа и марганца с наложенной на них сульфидной (свинцовой) минерализацией.

В стратиграфическом разрезе верхнефаменских отложений, слагающих участок месторождения, выделено три пачки (местное деление): 1) продуктивная с изменчивой мощностью от 180 до 225 м, на долю рудных пластов в которой приходится 50 – 95 м; 2) промежуточная мощностью до 40 м; 3) пачка «красноцветных» известняков мощностью 50 – 60 м.

Продуктивная пачка подстилается подрудными слоями со средней мощностью 130 м, без видимого перерыва переходящими в рудоносные отложения. Подрудные тёмно-серые и чёрные углистые известняки характеризуются интенсивной трещиноватостью, раздробленностью и обогащённостью сульфидами (к примеру, пиритом и галенитом). Зернистые скопления галенита приурочены главным образом к тёмным углистым разностям известняка, к прожилкам кальцита, развитым в известняке с углисто-

графитистыми прослоями, к пустотам среди микрозернистого серого известняка. Размер пустот – от сотых долей до 4 мм. Совместно с галенитом в них присутствуют пирит и доломит. Пустотки либо целиком выполнены галенитом, либо доломитом с оторочкой галенита. Зёрна пирита и галенита приурочены также к линзам (желвакам) в углистом известняке, вытянутом согласно грубой рассланцовке породы. Желваки сложены удлинёнными параллельно-шестоватыми агрегатами зёрен кальцита, иногда с примесью кварца, ориентированными согласно сланцеватости. Кристаллы рудных минералов не несут каких-либо следов деформации и сохраняют исходную форму.

Известняк подрудных слоёв в основном сложен кальцитом, который составляет 80-90 % объёма породы. В известняке наблюдаются вкрапленные, прожилковые выделения доломита. Закономерно, что если доломит присутствует в породе, то он почти всегда проявляется в прожилках.

Наблюдается перекристаллизация мелких зёрен кальцита с вкрапленностью углистого вещества в более крупные гранобластовые выделения. При этом происходит очищение кальцита от углистого вещества, которое, вытесняясь, располагается в виде оторочки или каёмочки вокруг кальцитовых зёрен, точно обрамляя их. В подрудных известняках присутствуют кварц и альбит. Зёрна кварца равномерно распределены в породе. Альбит, так же, как и кварц, содержит мелкие включения карбоната (*Каюпова М. М., 1974*).

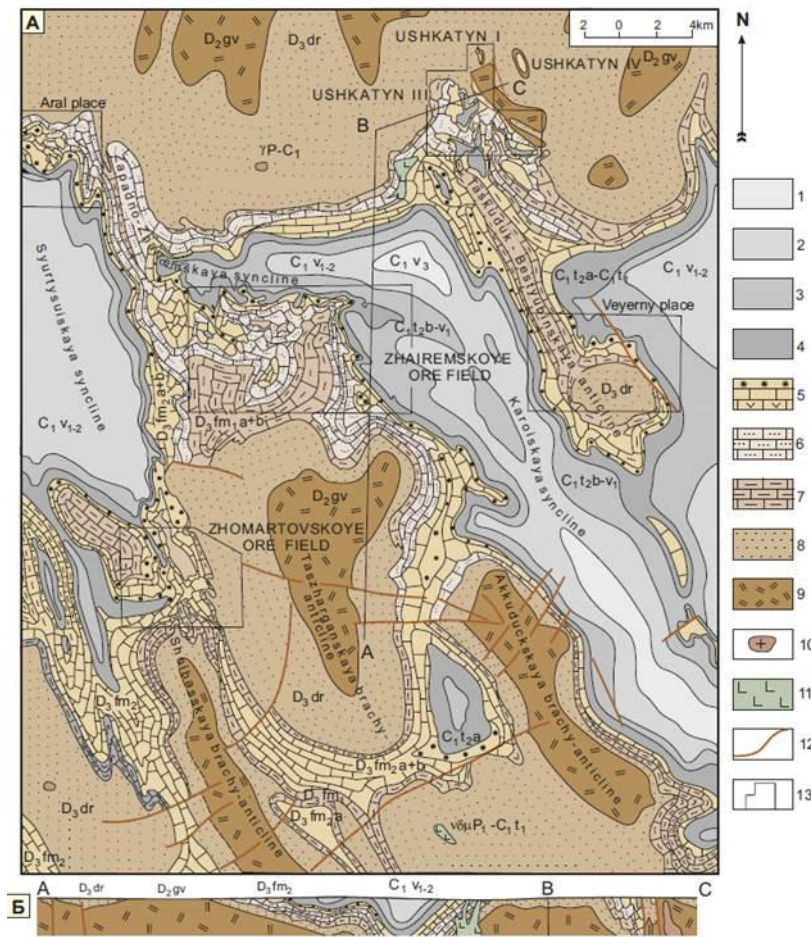


Fig. 10.3 Relationship of Ba-Pb-Zn-Mn deposits of the Zhaimre-Ushkatynskoye ore region with knots of intersection of near-fault folds (A-geological map, B-section) (by A.A. Rozhnov, E.I. Buzmakov and others, 1970)

Рис. 1. Геологическое положение Ва-Рв-Зп-Мп-месторождений Жомарт-Ушкатынского рудного поля (Рожнов А. А., Бузмаков Е. И., 1970)

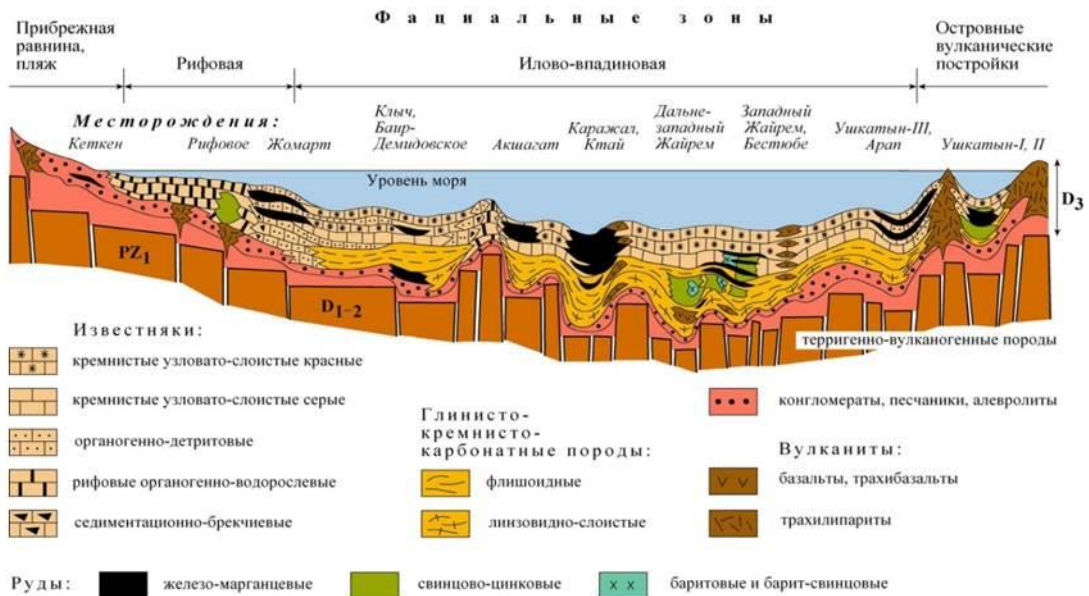


Рис. 2. Геологическое положение месторождения Жомарт (Рожнов А. А., Бузмаков Е. И., 1970 с дополнениями Брусницына А. И., 2017)

Рассмотрим подробнее основные черты строения рудоносной части разреза верхнефаменских отложений на месторождении Жомарт. Они обладают следующими особенностями:

Рудоносные отложения на месторождении характеризуются высокой кремнистостью.

1. Верхние и нижние марганцеворудные слои представляют собой единую кремнисто-карбонатно-железисто-марганцовистую фацию, в строении которой принимают участие окисные, карбонатные, кремнистые и терригенно-туфогенные образования. Основные минералы фации: гематит, кварц, кальцит, браунит, кремнистые карбонаты марганца (манганокальцит, родохрозит) и силикаты марганца (родонит, бустамит, тефроит). Марганценозные и железорудные пласты пространственно обособлены друг от друга.

2. В строении средних железорудных слоёв принимают участие как кремнистые, так и алюмосиликатно-карбонатно-железистые рудные фации. Рудообразующие минералы: гематит, кварц, кальцит, магнетит, сидерит, хлорит. Основной геохимической особенностью хлорит-сидерит-магнетитовой ассоциации является повышенная германиеносность.

3. Распределение рудоносных образований в разрезе верхнефаменских отложений на месторождении Жомарт таково: в основании и кровле продуктивной пачки залегает кремнисто-карбонатно-железисто-марганцовистая фация (нижние и верхние марганцеворудные слои), в средней части разреза – кремнисто- и алюмосиликатно-карбонатно-железистая германиеносная рудная фация (средние железорудные слои).

4. По соотношению силикатной (углисто-глинистый известняк, мергель, туффит) и кремнистой (яшма, силицит) пород, которые находятся в тесной ассоциации с рудами железа и марганца, выделяются два типа разрезов – западный, существенно кремнистый, и восточный, туффитистый. Туфогенные породы и связанные с ними альбититы наиболее развиты в восточной, а кремнистые породы и доломит – в западной части месторождения.

5. Кремнистость и небольшое содержание рудных компонентов сохраняются за пределами выклинивания рудных пластов. Ещё далее кремнистость постепенно исчезает и вся рудоносная толща за пределами месторождения фациально замещается серыми известняками с обильной верхнефаменской фауной. (Каюпова М. М., 1974)

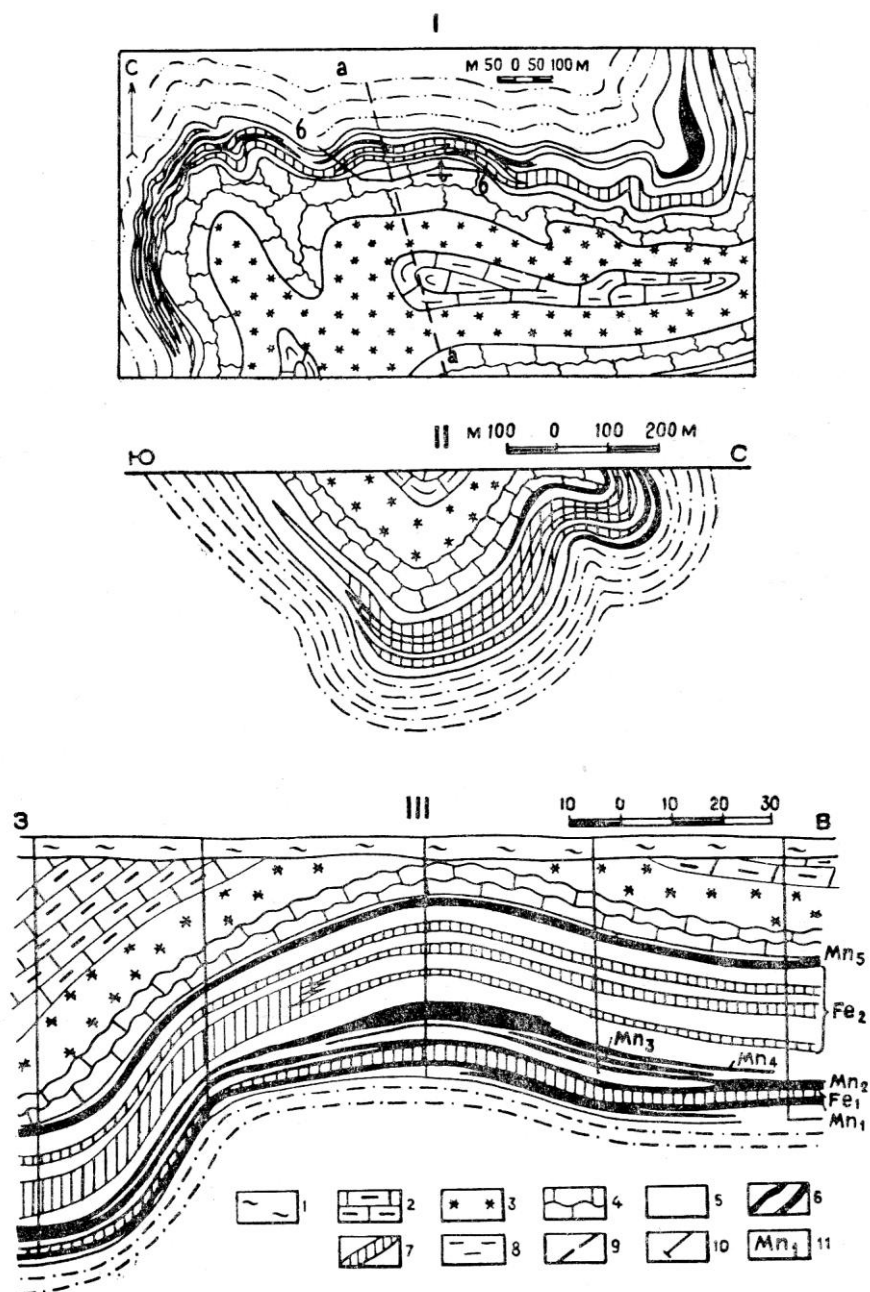


Рис. 2. Геологическая карта и разрезы месторождения Жомарт (по А. А. Рожнову, 1967). I — геологическая карта, II — разрез по линии а — а, III — разрез по линии б — б; 1 — кайнозойские отложения; 2 — нижнетурнейский ярус; 3 — красноцветная пачка верхнефаменского подъяруса; 4 — промежуточная пачка верхнефаменского подъяруса; 5 — рудовмещающие породы продуктивной пачки; 6 — марганцевые руды; 7 — железные руды; 8 — подрудные слои верхнефаменского подъяруса; 9 — линии геологических разрезов; 10 — буровые скважины на геологическом разрезе; 11 — индексы рудных пластов.

Рис. 3. Геологическая карта и разрезы месторождения Жомарт (Рожнов А. А., 1967)

Глава 2. Минеральные ассоциации

Карбонатная марганцевая порода представлена полосчатой текстурой. Срез карбонатной породы представлен тонкополосчатым переслаиванием зональных выделений различной окраски (рис. 8). Размер зон варьирует, мощность зон – 0,2 – 2 см. Зональные выделения секутся мелкими прожилками. Тонкополосчатое сложение этих пород объясняется чередованием тёмных, коричнево-чёрных прослоев, сложенных якобитом, и светлых, розовато-малиновых, сложенных кутнагоритом, доломитом, родохрозитом, кальцитом, хлоритом.

Светлые прослои сложены доломитом ячеистой текстуры, также в них присутствуют слоистые минералы, по содержанию Si выделенные в два типа, I и II, и хлорит. Сами ячейки заполнены доломитом, а промежутки, окаймляющие зёрна доломита, заполнены Ca-Mn и Ca-Mn-Mg –карбонатами. Ячеистая текстура зёрен доломита и кутнагорита пересекается более поздними прожилками, для которых характерно значительное содержание марганца. В доломитовых прослоях, в основном, вокруг слоистых минералов, наблюдаются карбонатные участки, которые имеют своеобразную зональность от кутнагорита (по краям) к родохрозиту и слоистым минералам (в центре) (рис. 6). Иногда в доломитовых прослоях присутствует вкрапленность зёрен якобсита.

Тёмные прослои сложены преимущественно якобитом, но также в них присутствуют Ca-Mn-карбонат и слоистые минералы (рис. 7). Основная масса тёмных прослоев сечётся многочисленными прожилками, как правило, вкрест слоистости (рис. 5). Состав прожилков характеризуется карбонатами и слоистыми минералами.

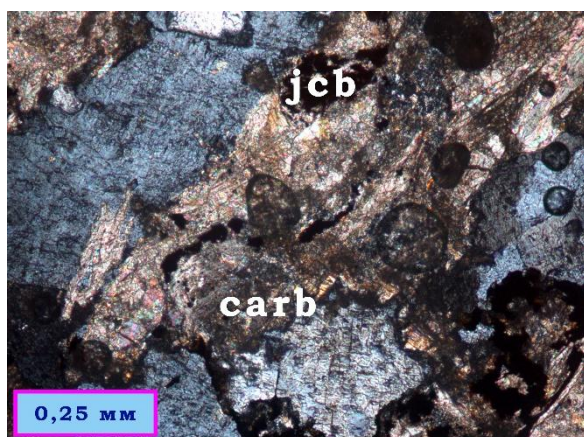


Рис. 4. Карбонаты, якобит и слоистые минералы (фото в скрещенных никелях)

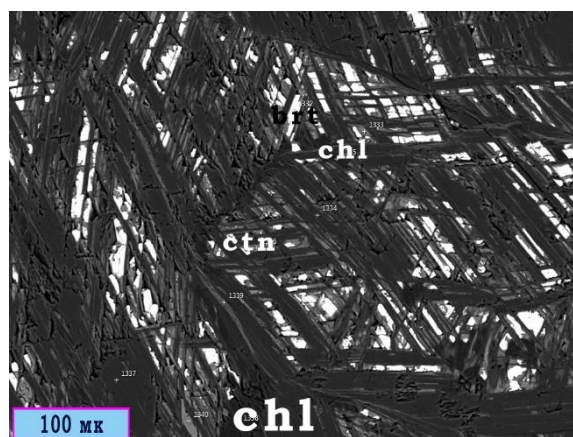


Рис. 5. Хлорит и слоистые минералы, кутнагорит, якобит и барит. РЭМ-фото.

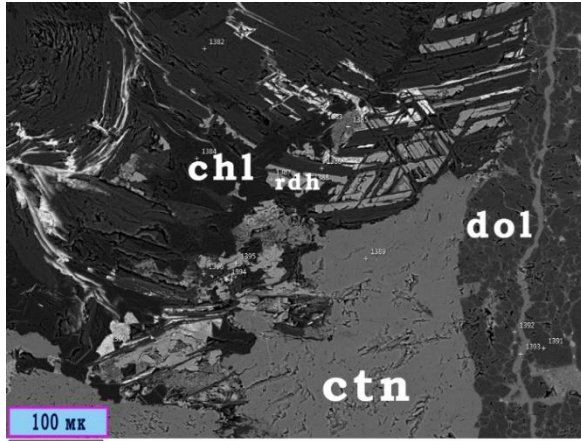


Рис. 6. Карбонаты и слоистые минералы.
РЭМ-фото.

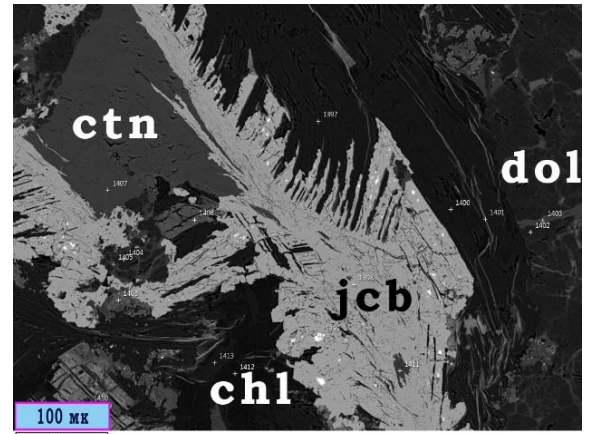


Рис. 7. Якобит, слоистые минералы и
карбонаты. РЭМ-фото.

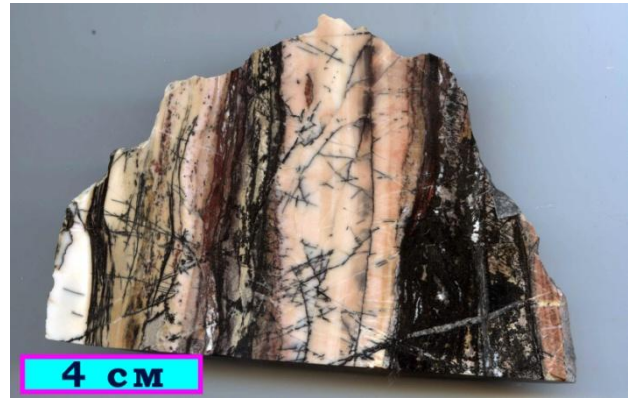
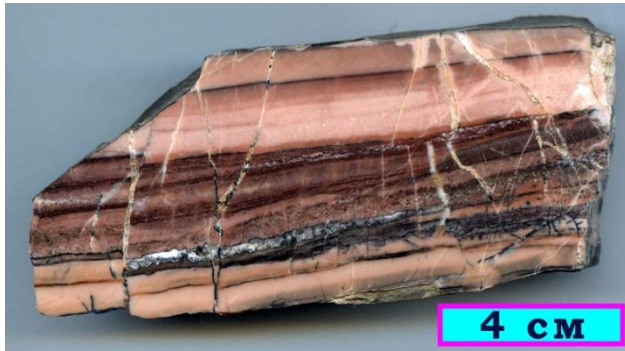


Рис. 8. Образцы ЖМ-9, ЖМ-10 и ЖМ-13
карбонатных марганцевых пород
месторождения Жомарт

Глава 3. Характеристика минералов

3. 1. Карбонаты

Карбонаты, в основном, представлены тремя минеральными видами: кутнагорит, доломит и родохрозит. Для карбонатов исследуемых образцов характерно различное содержание Ca, Mg и Mn (рис. 9).

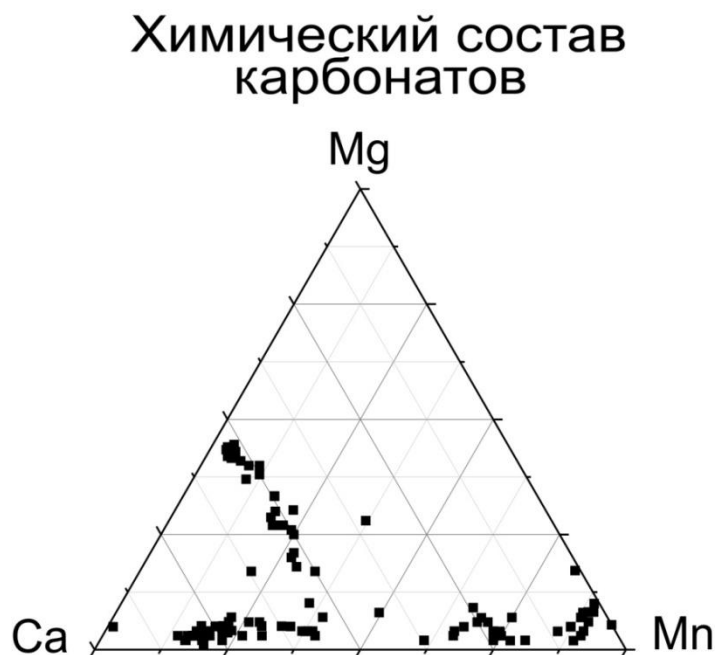


Рис. 9. Треугольник состава карбонатов исследуемых образцов

Кутнагорит $\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$

В данных образцах название «кутнагорит» используется весьма условно. По данным рентгено-фазового анализа исследуемый минерал нужно отнести к кутнагориту, по данным энерго-дисперсионного анализа некоторые формулы по составу ближе к кальциту с высокой примесью марганца и родохрозиту. В исследуемой породе кутнагорит встречается практически повсеместно.

В шлифах кутнагорит образует поликристаллические агрегаты сферической формы размером до 2 см. В исследуемых шлифах для него характерны прямоугольные выделения и вытянутые полоски-прожилки. Кутнагорит является продуктом гидротермального, карбонатитового, метаморфического, осадочного процессов, в последнем случае встречается в марганцово-железистых осадочных горных породах. В

шлифах кутнагорит обладает перламутровыми цветами интерференции, характерными для карбонатов. Для него характерна ассоциация с доломитом и якобитом (рис. 10-13).

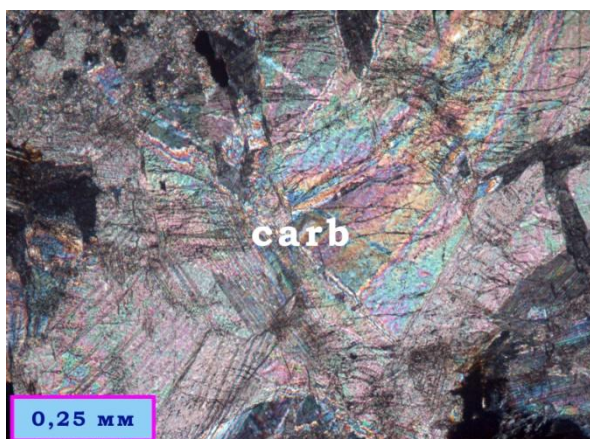


Рис. 10. Карбонаты (фото в скрещенных никелях)

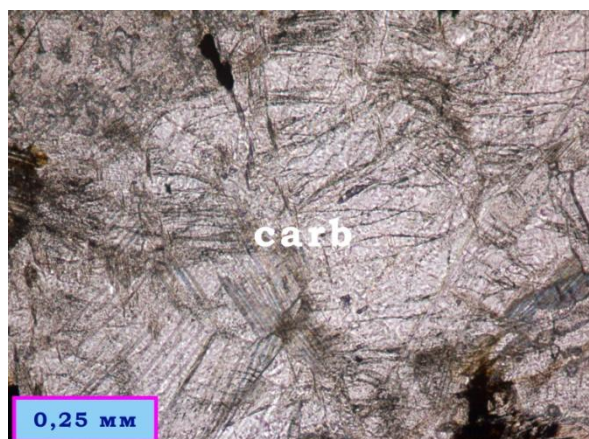


Рис. 11. Карбонаты (фото без анализатора)

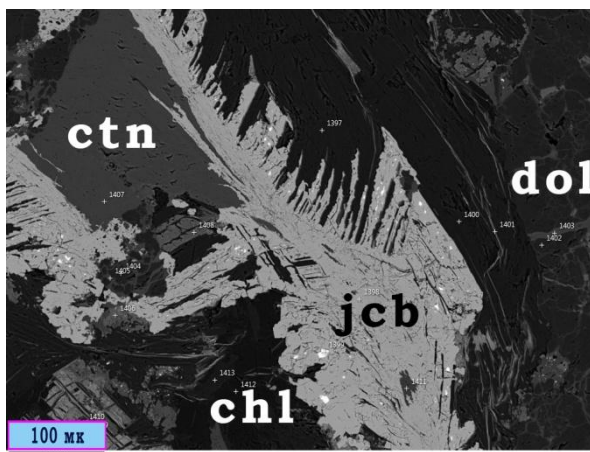


Рис. 12. Кутнагорит в ассоциации с доломитом, якобитом и хлоритом. РЭМ-фото.

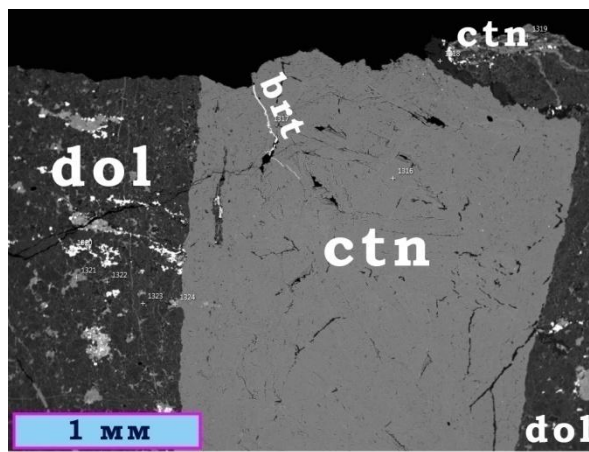


Рис. 13. Кутнагорит в ассоциации с доломитом. РЭМ-фото.

В таблице 1 представлены данные рентгено-фазового анализа для образцов кутнагорита. В таблице 2 представлен химический состав образцов кутнагорита, полученный путём исследования методами электронной микроскопии.

Таблица 1

Результаты рентгенофазового анализа кутнагорита

Эталон 01-084-1291					9.2		10.1		13.1		13.2	
d(Å)	I (%)	h	k	l	d	I	d	I	d	I	d	I
5.50	1	0	0	3								
4.11	1	1	0	1	3.9	1	4.52	1	4.22	1	4.60	1
3.77	19	0	1	2	3.79	0	3.77	1	3.68	1	3.68	1
2.96	100	1	0	4	2.98	3	2.94	10	2.97	2	2.98	4
2.75	1	0	0	6			2.70	0	2.88	10		
2.60	0	0	1	5								
2.45	16	1	1	0	2.46	0	2.45	1			2.46	0
2.24	18	1	1	-3	2.25	1	2.23	2	2.21	0	2.24	1
2.10	0	0	2	1								
2.05	17	2	0	2	2.07	1	2.04	2			2.07	0
1.89	7	0	2	4								
1.85	18	0	1	8	1.85	2	1.85	5			1.85	2
1.83	23	1	1	-6					1.84	1		
1.78	0	2	0	5	1.79	2			1.80	1	1.79	3
1.59	3	1	2	-1								
1.57	10	2	1	-2			1.57	0				
1.54	2	1	0	10								

Таблица 2

Химический состав кутнагорита (масс. %)

	Номер образца (13-1)									
	1316	1319	1321	1324	1328	1330	1341	1342	1350	1353
FeO				13,37				0,53		
MnO	17,81	18,32	23,57	14,99	20,32	53,97	16,09	25,10	53,69	37,86
MgO	2,17	1,86	1,29	1,48	1,24	1,00	0,59	2,38	1,54	3,67
CaO	45,90	46,05	41,82	37,22	43,86	13,98	49,56	37,86	13,63	25,88
SrO	0,42				1,61			1,26		
CO ₃ *	33,70	33,77	33,31	32,94	32,98	31,05	33,76	32,87	31,14	32,59
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Fe				0,34				0,01		
Mn	0,45	0,46	0,60	0,38	0,52	1,47	0,40	0,65	1,46	0,98
Mg	0,10	0,08	0,06	0,07	0,06	0,05	0,03	0,11	0,07	0,17
Ca	1,46	1,46	1,34	1,21	1,42	0,48	1,57	1,23	0,47	0,85
Sr	0,01				0,06			0,04		
Σ	2,02	2,00	2,00	2,00	2,06	2,00	2,00	2,04	2,00	2,00
C	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Химический состав кутнагорита (масс. %)

	Номер образца (13-1)				
	1355	1356	1362	1370	1389
SiO ₂			1,98		
Al ₂ O ₃			0,36		
FeO					
MnO	18,27	29,73	42,06	51,06	17,89
MgO	0,90	1,86	4,65	2,59	2,11
CaO	47,19	35,48	18,57	14,87	46,00
SrO					0,25
CO ₃ *	33,64	32,94	32,38	31,48	33,75
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si			0,06		
Al			0,01		
Fe					
Mn	0,46	0,76	1,10	1,37	0,45
Mg	0,04	0,08	0,21	0,12	0,09
Ca	1,50	1,15	0,61	0,51	1,46
Sr					0,01
Σ	2,00	1,99	1,99	2,00	2,01
C	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Доломит CaMg(CO₃)₂

В исследуемых образцах среди карбонатов часто встречается доломит (рис. 14-18). Как и другие карбонаты кальцитового ряда, доломит характеризуется спайностью по ромбоэдру. Кристаллы доломита в большинстве случаев также имеют ромбоэдрический облик. В отдельных зернах без данных химического анализа и измерения оптических констант невозможно отличить от анкерита, иногда сидерита. Весьма характерно, что доломит, в отличие от кальцита, обнаруживает полисинтетическое двойникование не по (0112), а по (0221). В прозрачных шлифах это направление двойникования устанавливается по короткой диагонали ромбов, образуемых трещинами спайности. В

исследуемых шлифах для доломита характерны бесформенные массы, секущиеся многочисленными прожилками, также проявлена ячеистая текстура.

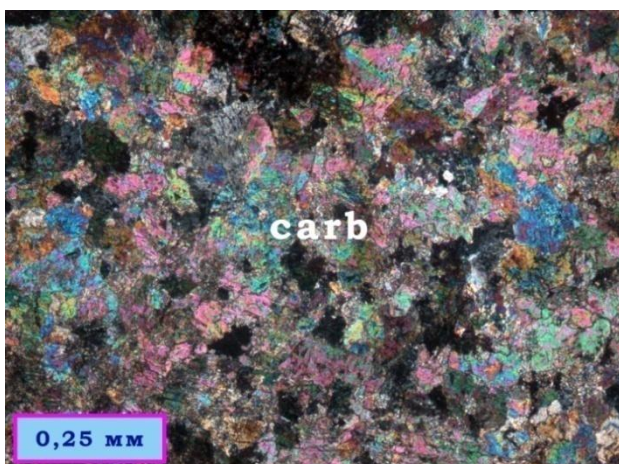


Рис. 14. Карбонаты (фото в скрещенных никелях)



Рис. 15. Карбонаты (фото без анализатора)

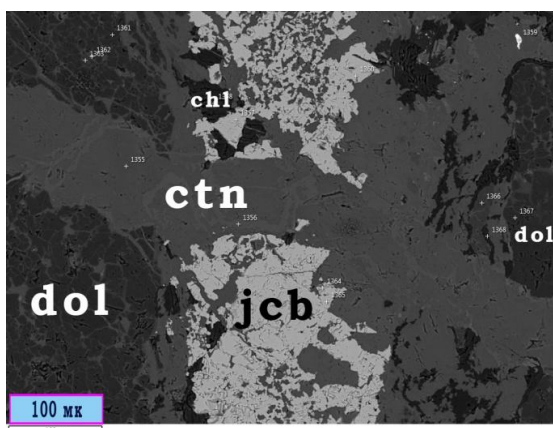


Рис. 16. Ассоциация доломита с кутнагоритом, яacobситом и хлоритом. РЭМ-фото.

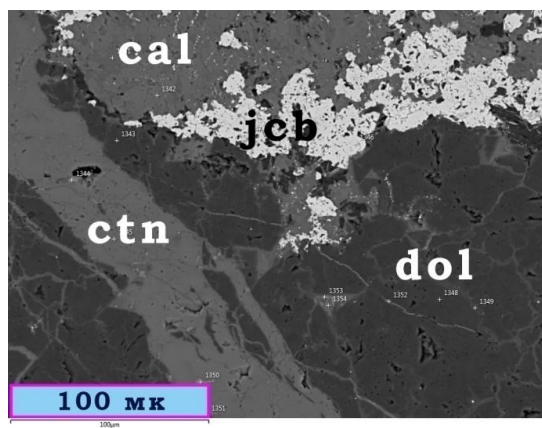


Рис. 17. Ассоциация доломита с кутнагоритом, яacobситом и кальцитом. РЭМ-фото

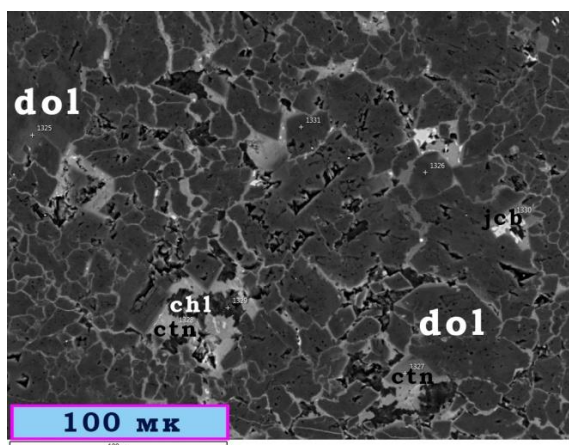


Рис. 18. Ячеистая структура доломита (ассоциация с кутнагоритом, яacobситом и хлоритом). РЭМ-фото.

В таблице 3 представлены результаты рентгено-фазового анализа для образцов доломита. На рис. 19 изображена рентгенограмма доломита. Химический состав исследуемых образцов описан в таблице 4.

Таблица 3

Результаты рентгенофазового анализа доломита

Эталон 01-075-3686					9.2		9.4		10.2	
d(Å)	I	h	k	l	d	I	d	I	d	I
5.33	0	0	0	3					4.90	0
4.03	2	1	0	1	3.9	1			4.02	0
3.69	6	0	1	2	3.70	1	3.68	1	3.70	1
2.88	100	1	0	4	2.89	10	2.89	10	2.89	10
2.67	4	0	0	6	2.67	0	2.689	1	2.68	0
2.54	6	0	1	5	2.54	0	2.54	0	2.57	1
2.40	11	1	1	0	2.40	1	2.40	0	2.41	1
2.19	23	1	1	-3	2.19	2	2.20	2	2.19	2
2.06	4	0	2	1	2.07	1	2.07	1	2.07	0
2.01	12	2	0	2	2.02	1	2.02	2	2.02	1
2.00	1	1	0	7						
1.85	4	0	2	4	1.85	2	1.85	1	1.84	2
1.80	13	0	1	8	1.81	1	1.81	1	1.81	1
1.79	16	1	1	-6	1.79	2	1.79	1	1.79	1
1.78	2	0	0	9						
1.75	0	2	0	5						
1.57	2	1	2	-1					1.56	0

Результаты рентгенофазового анализа доломита

01-075-3686				13.2		10.3		13.1		
d(Å)	I	h	k	l	d	I	d	I	d	I
5.33	0	0	0	3	4.60	1				
4.03	2	1	0	1					4.22	1
3.69	6	0	1	2	3.68	1	3.69	1	3.68	1
2.88	100	1	0	4	2.88	10	2.89	10	2.88	10
2.67	4	0	0	6	2.66	0	2.67	0	2.66	0
2.54	6	0	1	5	2.56	1	2.54	0	2.54	0
2.40	11	1	1	0	2.40	1	2.40	1	2.40	1
2.19	23	1	1	-3	2.19	2	2.19	2	2.19	2
2.06	4	0	2	1	2.07	0	2.06	0	2.07	0
2.01	12	2	0	2	2.01	1	2.01	1	2.02	1
2.00	1	1	0	7	1.85	2				
1.85	4	0	2	4	1.81	1	1.84	1	1.84	1
1.80	13	0	1	8	1.79	3	1.80	1		
1.79	16	1	1	-6			1.79	2	1.79	3
1.78	2	0	0	9						
1.75	0	2	0	5						
1.57	2	1	2	-1			1.56	0		

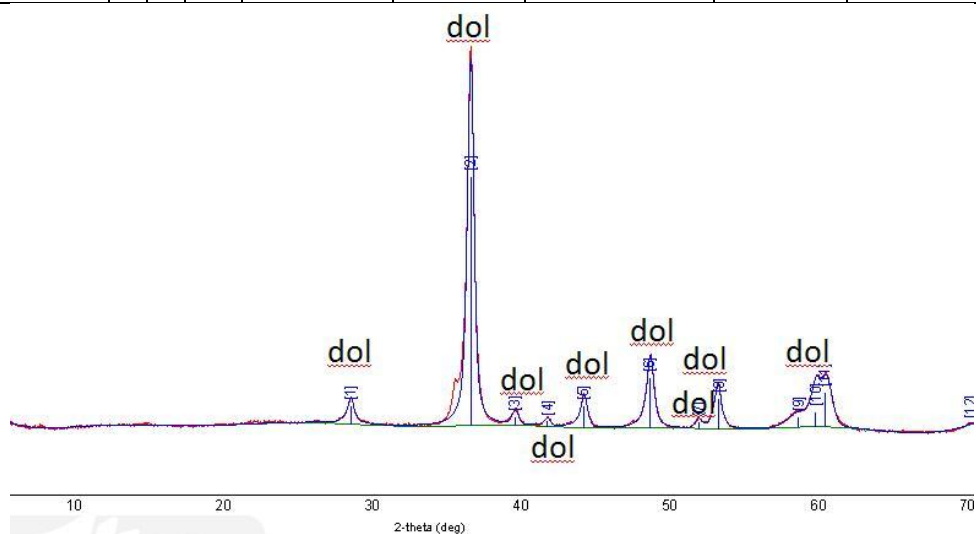


Рис. 19. Рентгенограмма доломита

Таблица 4

Химический состав доломита (масс. %)

	Номер образца (13-1)									
	1322	1323	1325	1326	1331	1343	1361	1367	1373	1391
SiO ₂	0,38	0,41								
MnO	3,10	4,71	8,53	3,53	3,32	3,19	3,60	3,55	4,16	3,37
MgO	22,49	21,46	18,45	20,85	21,69	22,15	21,80	22,05	21,48	22,38
CaO	36,33	36,00	36,27	37,98	37,33	36,93	36,85	36,80	36,78	36,59
CO ₃ *	37,69	37,43	36,75	37,33	37,52	37,60	37,46	37,60	37,43	37,66
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Ca	1,03	1,03	1,06	1,09	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,04
Si	0,01	0,01								
Mn	0,07	0,11	0,20	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,08
Mg	0,89	0,85	0,75	0,83	0,86	0,88	0,87	0,87	0,85	0,88
Σ	0,97	0,97	0,95	0,91	0,93	0,95	0,95	0,95	0,94	0,96
C	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00

Родохрозит MnCO₃

Родохрозит - сравнительно распространенный карбонат. В исследуемой породе родохрозит располагается в карбонатных участках с зональностью кутнагорит-родохрозит. В шлифах наблюдаются вытянутые кристаллы, перекрываемые хлоритом и другими слоистыми минералами. Химический состав может сильно варьировать из-за того, что в группе карбонатов существуют изоморфные ряды MnCO₃ - CaCO₃(кальцит) и MnCO₃ - FeCO₃(сидерит) и в родохрозите часть Mn обычно изоморфно замещена на Fe, Mg, Ca. Кристаллическая структура аналогична структуре кальцита. Встречаются параллельные сростания родохрозита с доломитом. На рис. 20-23 представлена ассоциация родохрозита с другими карбонатами и слоистыми минералами. В таблице 5 представлен химический состав родохрозита.

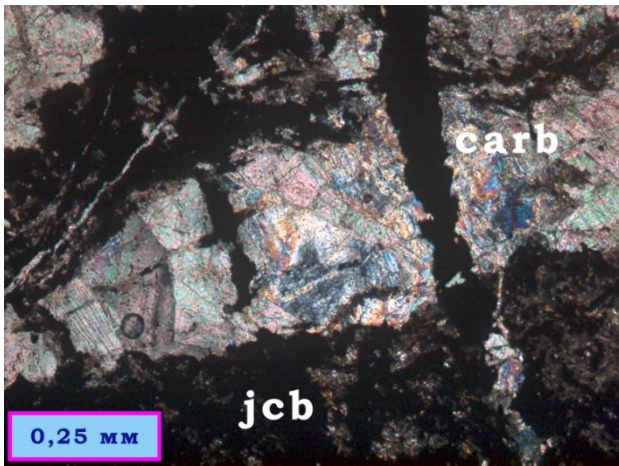


Рис. 20. Карбонаты и яacobит (фото в скрещенных никелях)

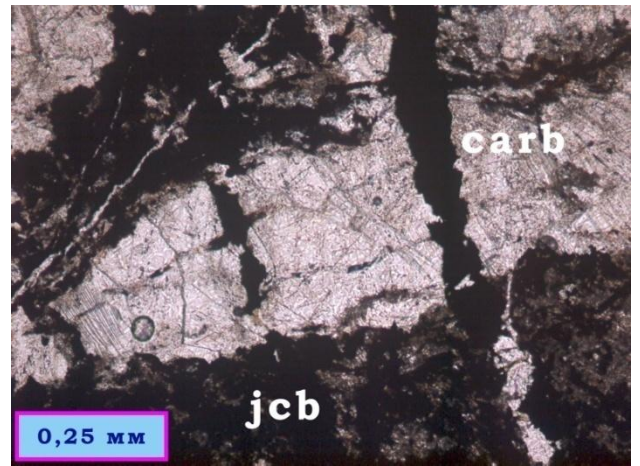


Рис. 21. Карбонаты и яacobит (фото без анализатора)

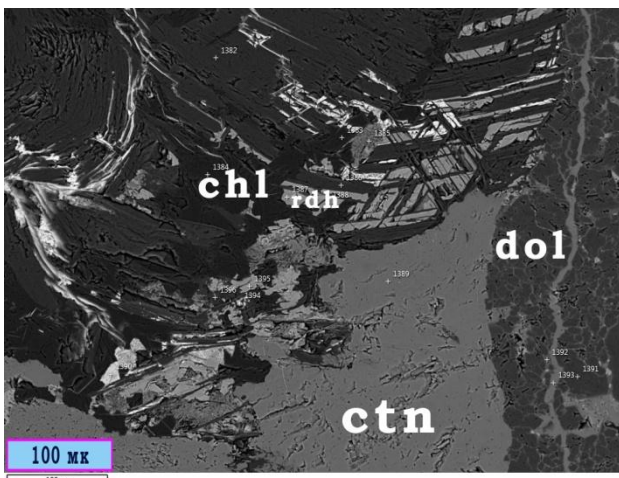


Рис. 22. Родохрозит в ассоциации с хлоритом, доломитом и кутнагоритом. РЭМ-фото

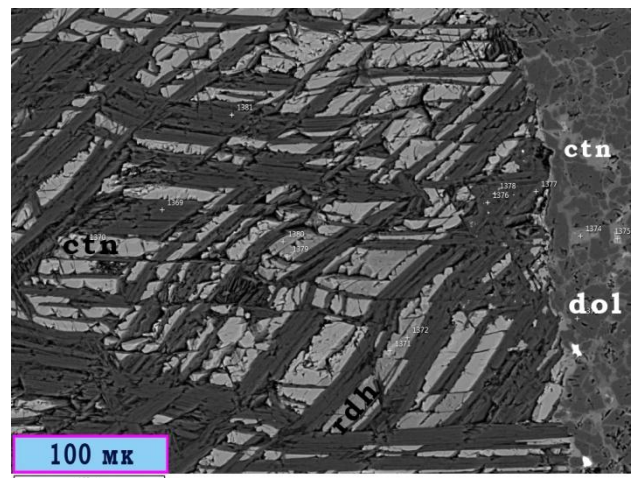


Рис. 23. Родохрозит в ассоциации с кутнагоритом и слоистыми минералами. РЭМ-фото

Таблица 5

Химический состав родохрозита (масс. %)

	Номер образца (13-1)				
	1340	1371	1375	1379	1387
SiO ₂		0,37		0,59	
MnO	49,28	47,00	44,42	47,84	48,49
MgO	2,04	1,13	0,63	1,48	1,44
CaO	1,91	4,68	7,94	3,29	3,34
CO ₃ *	46,77	46,82	47,01	46,79	46,73
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Si		0,01		0,01	
Mn	0,89	0,85	0,80	0,86	0,88
Mg	0,06	0,04	0,02	0,05	0,05
Ca	0,05	0,10	0,18	0,08	0,08
Σ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
C	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Кальцит CaCO₃

В исследуемых образцах кальцит отличается повышенным содержанием Mn и расположен в пределах карбонатных прослоев. Кальцит кристаллизуется в тригональной сингонии, а формы его развития очень разнообразны. Чаще всего встречается в виде плотных или мелкозернистых масс. Общими свойствами карбонатов являются хорошо развитая спайность по ромбоэдру (под углом 73°), очень сильное (до исключительно сильного) двупреломление – от перламутровых цветов интерференции (кальцит) до белого высшего порядка (сидерит, магнезит). Характерным диагностическим признаком кальцита является псевдоабсорбция. Кальцит в шлифе бесцветен; при совмещении Ng с P появляется резкая шагрень, создающая впечатление серого цвета. А круговые сечения этого карбоната также характеризуются чёткой шагренью, так как диаметром в нём

является Ng. Для кальцита характерны перламутровые цвета интерференции; полисинтетические двойники. На рис. 24 представлена ассоциация, характерная для кальцита. Данные рентгенофазового анализа для кальцита содержатся в табл. 6.

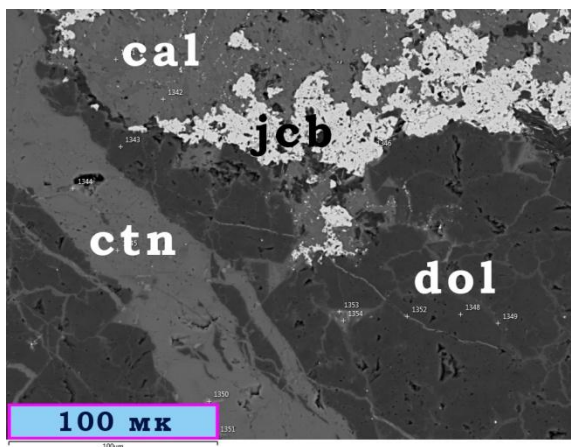


Рис. 24. Кальцит в ассоциации с доломитом, яacobситом и кутнагоритом. РЭМ-фото

Таблица 6

Результаты рентгенофазового анализа кальцита

Эталон 01-087-1863					9.3		9.4	
d(Å)	I	h	k	l	d	I	d	I
8.25	0	0	0	1	8.37	1		
4.36	0	2	0	0	4.52	1		
4.13	0	1	1	0				
4.13	0	0	0	2				
3.98	7	-2	0	1				
3.74	1	-1	1	1			3.80	1
3.74	0	2	0	1				
3.64	14	1	1	1	3.65	2		
3.12	0	-2	0	2				
2.97	100	-1	1	2	2.99	10	2.99	7
2.89	49	2	0	2	2.89	4		
2.75	3	0	0	3				
2.47	15	3	1	0	2.46	1	2.46	1

2.41	4	-2	0	3	2.40	0		
2.41	0	-3	1	1				
2.34	9	0	2	0				
2.32	6	-1	1	3				
2.32	0	3	1	1				
2.25	7	0	2	1			2.26	1
2.25	0	2	0	3	2.25	1		
2.18	6	-3	1	2	2.19	1		
2.18	0	4	0	0				
2.15	0	-4	0	1				
2.07	9	4	0	1	2.07	1	2.07	1
2.06	3	3	1	2				
2.06	0	0	0	4				
2.04	3	0	2	2				
2.02	14	-2	2	1	2.01	0		
1.99	4	-4	0	2				
1.98	1	2	2	1				
1.92	11	-2	0	4				
1.90	14	-3	1	3				
1.87	1	-2	2	2	1.88	2	1.88	1
1.87	0	-1	1	4			1.85	1
1.82	22	2	2	2				
1.82	0	1	1	4				
1.78	11	0	2	3	1.79	1		

3.2. Слоистые минералы

Среди слоистых минералов, представленных в исследуемых образцах, по данным энерго-дисперсионного анализа можно выделить хлорит и два типа слоистых минералов, с различным содержанием Si, Mg и Al. Их химический состав представлен в таблицах 7 и 8, а ассоциация – в рис. 25-28. Минеральные виды внутри группы среди исследуемых слоистых минералов сложно определяются из-за небольшого их количества и перекрытия их отражения другими минералами.

В данных образцах слоистые минералы развиваются по карбонатам и якобситу. Слоистые минералы I группы выражены прожилками, расположенными вкрест простиранию карбонатов (рис. 27). Для II группы характерна вкрапленность якобсита (рис. 28).

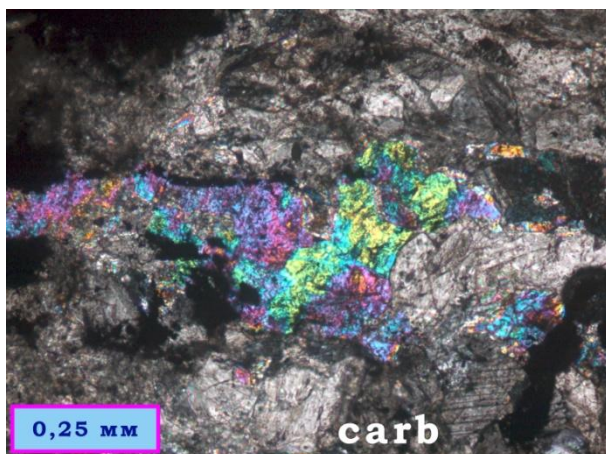


Рис. 25. Слоистые минералы в ассоциации с карбонатами (фото в скрещенных никелях)

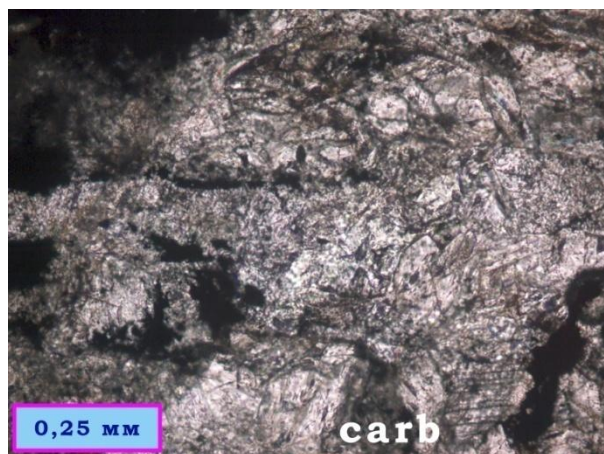


Рис. 26. Слоистые минералы в ассоциации с карбонатами (фото без анализатора)

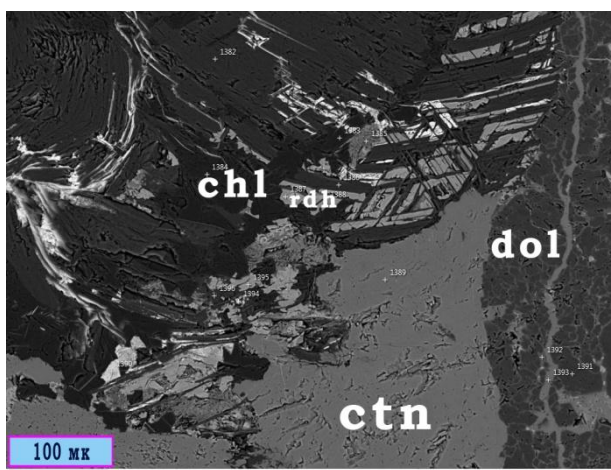


Рис. 27. Слоистые минералы (I группа) в ассоциации с кутнагоритом и доломитом. РЭМ-фото

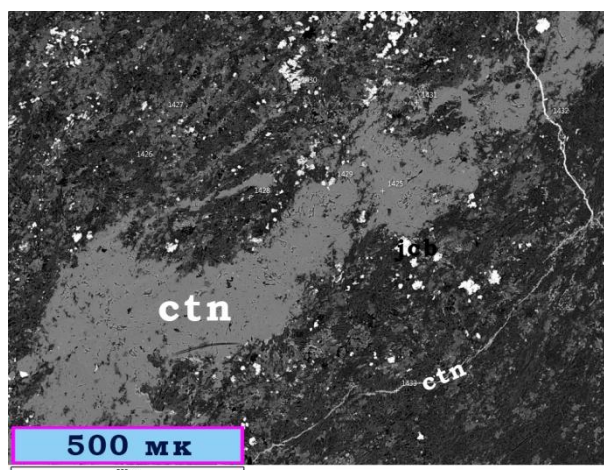


Рис. 28. Слоистые минералы (II группа) в ассоциации с кутнагоритом и доломитом. РЭМ-фото

Таблица 7

Химический состав слоистых минералов (I группа) (масс. %)

	Номер образца (13-1)				
	1382	1386	1397	1400	1413
SiO ₂	50,43	50,01	49,51	51,15	49,46
Al ₂ O ₃	1,24	1,24	1,60	1,90	1,90
FeO	1,46	1,51	2,00	2,16	1,68
MnO	6,58	7,01	6,62	6,33	6,06
MgO	40,29	39,99	40,26	38,23	40,90
CaO		0,23		0,23	
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 8

Химический состав слоистых минералов (II группа) (масс. %)

	Номер образца (13-1)				
	1419	1421	1426	1428	1451
SiO ₂	63,46	59,85	62,13	67,63	61,71
Al ₂ O ₃				0,52	
FeO	0,47	1,01	0,57		0,89
MnO	3,68	2,23	3,22	3,79	5,39
MgO	27,95	24,38	26,00	26,32	23,41
CaO	3,45	8,4	6,31	1,25	5,37
Na ₂ O	0,77	3,16	1,42	0,33	2,69
K ₂ O	0,21	0,96	0,35	0,17	0,54
Σ	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Хлорит (клинохлор) $Mg_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$

Хлорит (клинохлор) обладает моноклинной (псевдогексагональной) сингонией, для него характерны невысокие показатели преломления, слабое двупреломление. Часто в шлифах имеет зеленоватую окраску и ярко выраженный плеохроизм. Клинохлор образует довольно крупные идиоморфные таблитчатые пластинки, часто с характерными полисинтетическими двойниками. Химический состав хлорита исследуемых образцов представлен в таблице 9. В данной породе хлорит перекрывает кутнагорит и якобит (рис. 29).

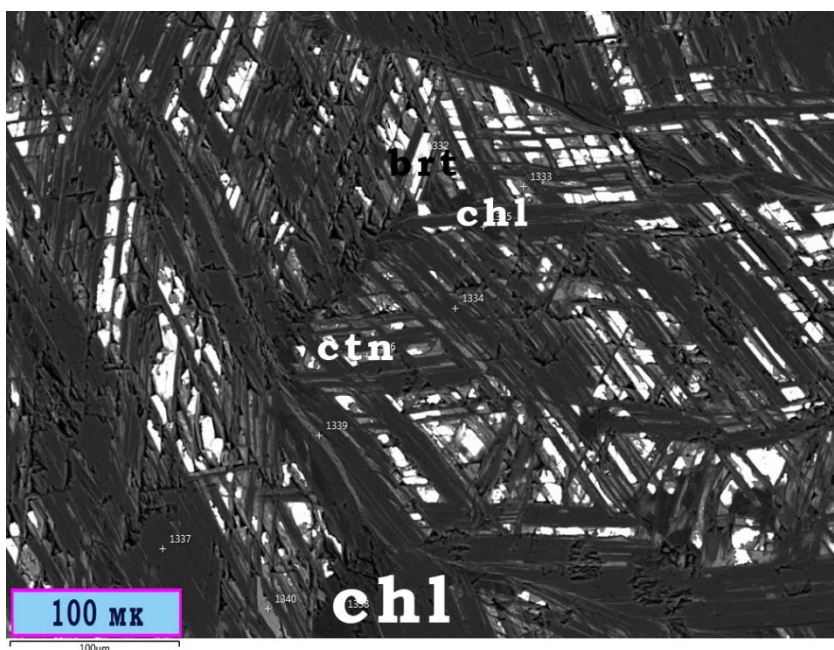


Рис. 29. Хлорит в ассоциации с другими слоистыми минералами, кутнагоритом и якобитом. РЭМ-фото

Таблица 9

Химический состав клинохлора (масс. %)

	Номер образца (13-1)							
	1329	1335	1338	1358	1368	1383	1384	1412
SiO ₂	45,22	42,05	42,31	47,28	43,45	42,28	42,68	43,98
Al ₂ O ₃	8,89	12,57	12,33	9,46	10,59	12,37	12,32	10,25
FeO	2,7	1,58	1,94	3,45	2,93	1,77	1,98	2,63
MnO	6,75	2,34	2,28	2,69	3,07	2,27	2,23	2,43
MgO	34,97	41,46	41,14	36,22	35,89	41,31	40,79	40,71
Σ	98,53	100,00	100,00	99,10	95,93	99,99	100,00	100,00
Al	0,44	0,60	0,59	0,46	0,52	0,60	0,59	0,49
Mg	4,39	5,05	5,01	4,43	4,56	5,03	4,96	4,97
Mn	0,48	0,16	0,16	0,19	0,22	0,16	0,15	0,17
Fe	0,19	0,11	0,13	0,24	0,21	0,12	0,14	0,18
Al (VI)	0,69	0,64	0,65	0,8	0,77	0,64	0,67	0,59
Σ	5,75	5,96	5,95	5,66	5,76	5,95	5,92	5,91
Si	3,81	3,43	3,46	3,88	3,71	3,45	3,48	3,60
Al (IV)	0,19	0,57	0,54	0,12	0,29	0,55	0,52	0,40
Σ	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

3.3. Второстепенные минералы

Якобсит $MnFe_2O_4$

Якобсит – оксид чёрного, буровато-чёрного цвета. Блеск металлический, полуметаллический. Непрозрачный, просвечивает лишь в очень тонких осколках. Для него характерна кубическая сингония. Кристаллы образуют форму октаэдров, ромбододекаэдров. Чаще встречаются зернистые агрегаты, реже кристаллы. Ассоциация якобсита в исследуемых породах представлена на рис. 30-33. Данные рентгенофазового анализа приведены в табл. 10. В исследуемых породах представлен в ассоциации с карбонатами и слоистыми минералами.

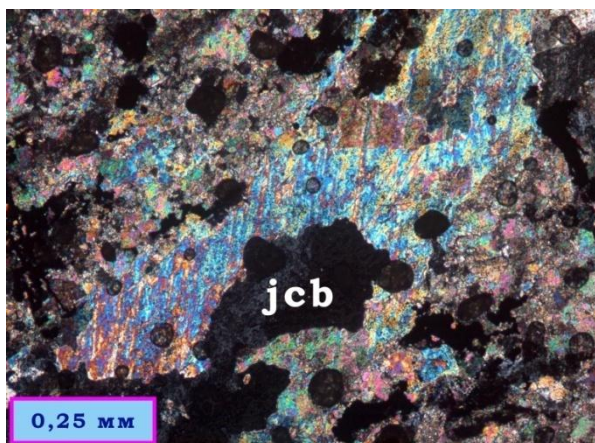


Рис. 30. Якобсит (фото в скрещенных никелях)

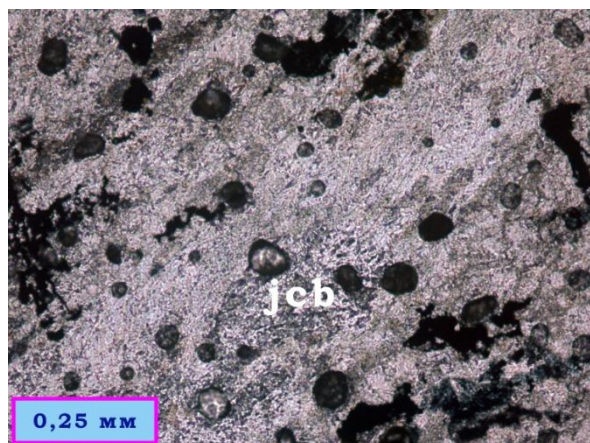


Рис. 31. Якобсит (фото без анализатора)

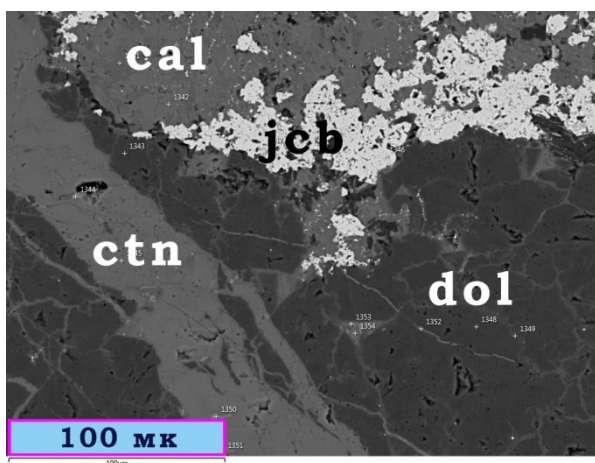


Рис. 32. Якобсит в ассоциации с доломитом, кутнагоритом и кальцитом. РЭМ-фото

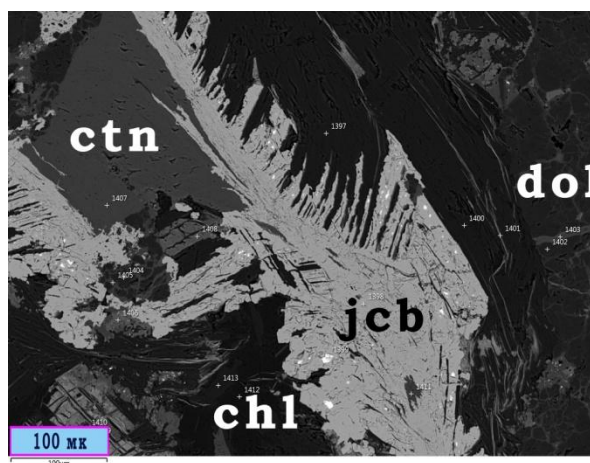


Рис. 33. Якобсит в ассоциации с доломитом, кутнагоритом и хлоритом. РЭМ-фото

Таблица 10

Результаты рентгенофазового анализа якобсита

Эталон 01-073-3820					9.1		9.4		10.2	
d(Å)	I	h	k	l	d	I	d	I	d	I
4.91	17	1	1	1	4.83	1			4.90	0
3.00	32	2	2	0	2.99	4	3.09	2	3.00	0
2.56	100	3	1	1			2.57	0	2.57	1
2.45	9	2	2	2					2.45	0
2.12	21	4	0	0					2.12	0
1.95	0	3	3	1						
1.73	8	4	2	2						
1.64	30	5	1	1	1.63	2			1.64	0

Барит $BaSO_4$

Барит представлен незначительно, развивается небольшими прожилками по кутнагориту (рис. 34). Для изученного образца характерна незначительная примесь Са и Sr (по данным энерго-дисперсионного анализа).

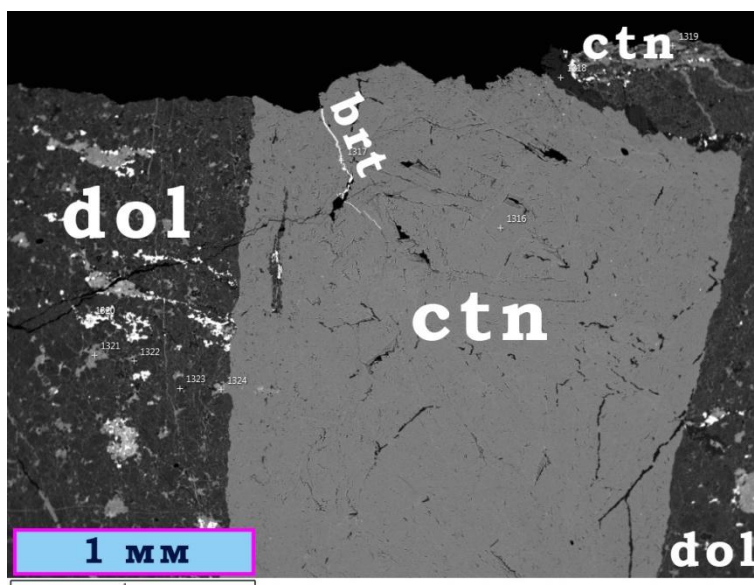


Рис. 34. Барит, развивающийся по кутнагориту. РЭМ-фото

Криптомелан $\text{KMn}_8\text{O}_{16}$

Криптомелан в исследуемой породе представлен незначительно. По данным энерго-дисперсионного анализа в нём содержится значительная примесь Si (до 16,65 вес. %). Ассоциация криптомелана изображена на рис. 35.

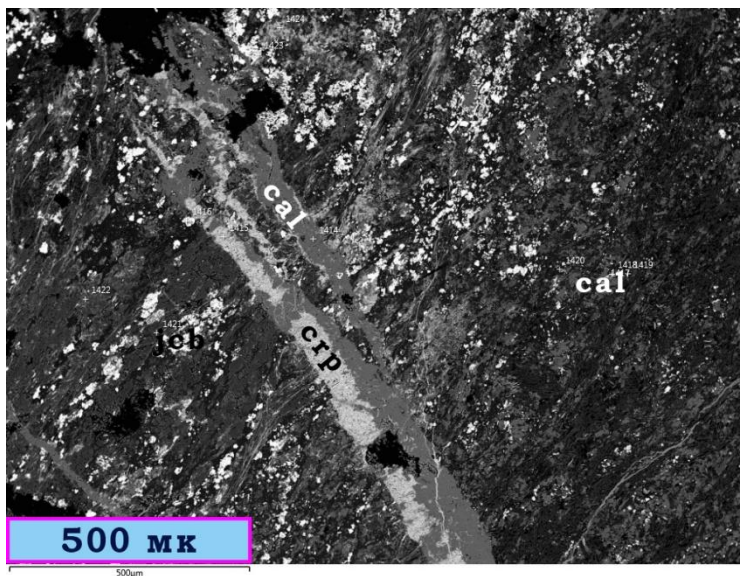


Рис. 35. Криптомелан, пересекающий карбонаты, слоистые минералы и якобит. РЭМ-фото

Глава 4. Условия образования руд

Синхронные с вмещающими породами железо- и марганцеворудные тела месторождения Жомарт имеют пласто- и линзообразную форму. Рудные пласты независимо от их мощности хорошо выдержаны по простиранию и совершению одинаково с вмещающими их породами участвуют во всех типах складчатых структур и служат маркирующими горизонтами, по которым только и отрисованы структуры. Границы рудных залежей и вмещающих пород резкие, чёткие. Рудные пласты представляют собой тонкое (нередко до микроскопических величин) ритмическое чередование рудных и породных прослоев и характеризуются, следовательно, широким диапазоном содержания полезных компонентов (Fe, Mn), а именно – от 6 до 26 % Mn в марганцеворудном пласте, от 15 до 45 % Fe в мощном железорудном (*Каюпова М. М., 1974*).

Последовательность минералообразования можно выделить следующим образом: сначала были образованы карбонаты и якобит, затем появились слоистые минералы, на самой поздней стадии образовался барит. На РЭМ-фотографиях видно, что слоистые минералы развиваются по карбонатам и якобситу, образованным ранее. Внутри группы карбонатов образование минералов тоже происходило не одновременно. Карбонаты, расположенные между ячейками доломита, образованы позже. Судя по данным энергодисперсионного анализа, это продукты перекристаллизации доломита. Кутнагорит делится на две генерации: первая – располагается в карбонатных прослоях, вторая – в секущих прожилках. Кутнагорит прослоев более кальцитистый, кутнагорит секущих прожилков обладает повышенным содержанием марганца.

Карбонаты можно разделить на две группы: прослой с доминированием доломита и прослой с доминированием кутнагорита. В обоих случаях характерно присутствие слоистых минералов, но в кутнагоритовых прослоях их количество значительно больше. Внутри группы доломита следует отметить следующий интересный факт: ячеистая структура доломита пересекается поздними прожилками, более марганцовистого состава. Зёрна представлены доломитом, а оторочка – марганцовистая. Кроме того в карбонатных слоях встречаются зёрна родохрозита призматического габитуса. Помимо прослоев с преобладанием якобсита, для некоторых карбонатных прослоев также характерно присутствие зёрен якобсита. Все прослой секутся многочисленными прожилками разного возраста, сложенными различными карбонатами. Прожилки были образованы позже вмещающей карбонатной породы.

Примеры, иллюстрирующие последовательность минералообразования, приведены на рис. 36-41. На рис. 36 изображено, как более поздний кутнагорит захватывает зёрна доломита, хлорита и якобсита. На рис. 37 видно, как слоистые минералы развиваются по карбонатам и якобситу. Рис. 38 и 39 отражают развитие слоистых минералов по карбонатам и якобситу. На рис. 40 заметно, как хлорит развивается по доломиту, а также показаны оторочки зёрен доломита, имеющие более марганцовистый состав. А рис. 41 отражает развитие более позднего барита по карбонатам.

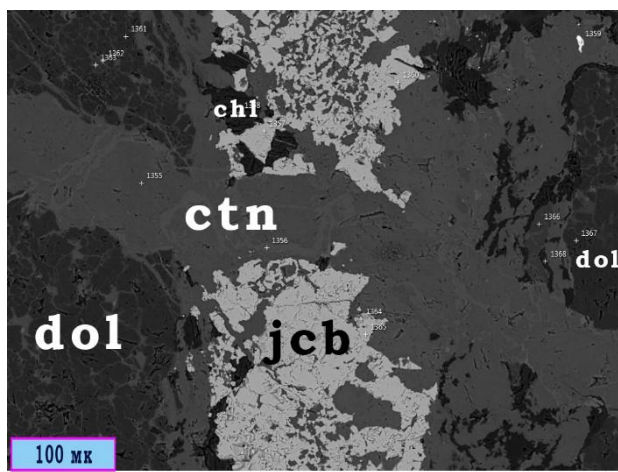


Рис. 36. Карбонаты, слоистые минералы и якобит. РЭМ-фото.

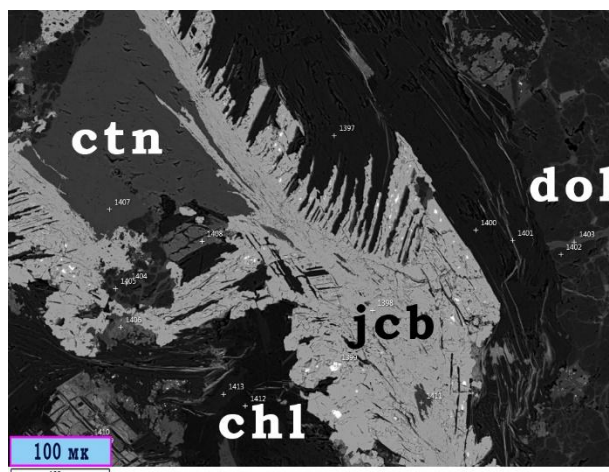


Рис. 37. Карбонаты, слоистые минералы и якобит. РЭМ-фото.

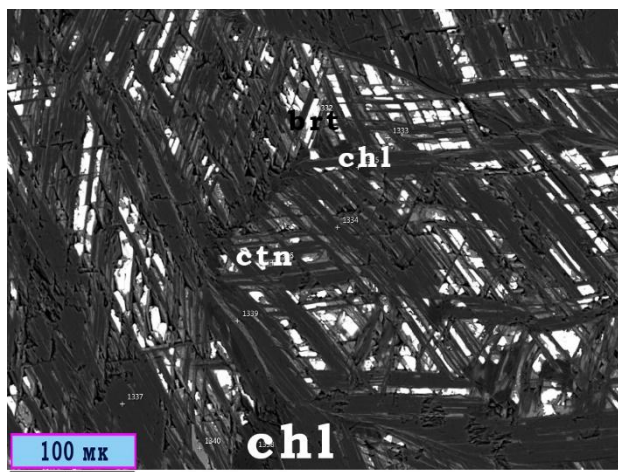


Рис. 38. Слоистые минералы, карбонаты и якобит. РЭМ-фото.

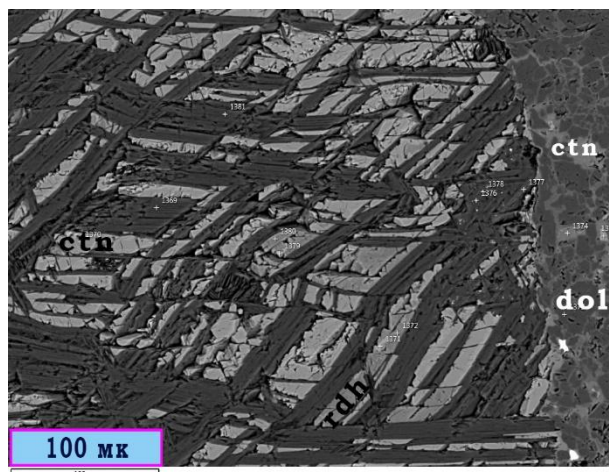
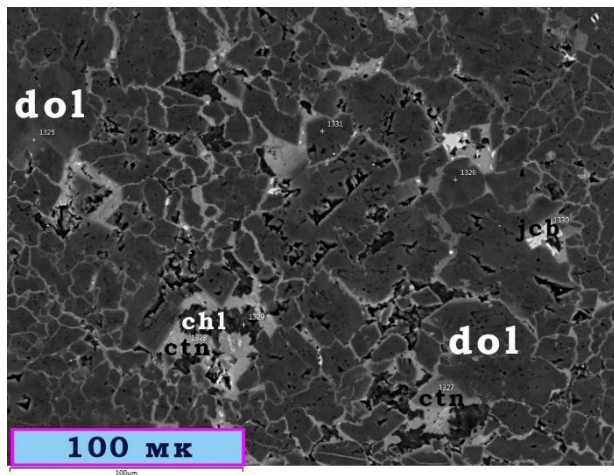


Рис. 39. Слоистые минералы, карбонаты и якобит. РЭМ-фото.



*Рис. 40. Ячеистая структура доломита.
РЭМ-фото.*

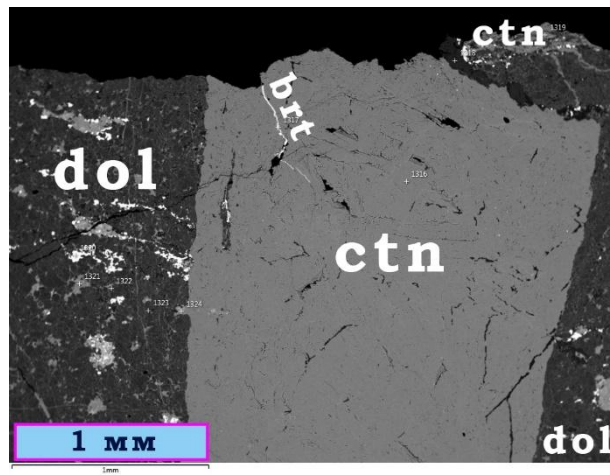


Рис. 41. Карбонаты и барит. РЭМ-фото.

Заключение

В этой дипломной работе я исследовал карбонатные марганцевые руды месторождения Жомарт, изучил их минеральный состав. Были диагностированы главные и второстепенные минералы, изучены вариации химического состава минералов, рассчитаны формулы, определены основные минеральные ассоциации. Выделены следующие минеральные ассоциации вмещающих пород и руд: карбонатная: кутнагорит, доломит, родохрозит и кальцит; слоистая: хлорит и две группы слоистых минералов, неопределённых точно; оксиды: яacobсит; второстепенные минералы: барит, криптомелан. Была определена последовательность минералообразования.

В моей работе восполнены пробелы в изучении минерального состава карбонатных марганцевых руд Жомарта, минералы этого участка были исследованы современными методами.

Литература

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии – М., 2010
2. Булах А. Г., Золотарёв А. А., Кривовичев В. Г. Структура, изоморфизм, формулы, классификация минералов – СПб., 2014
3. Булах А. Г., Кривовичев В.Г., Золотарёв А.А. Общая минералогия – М., 2008
4. Каюпова М. М. Минералогия железных и марганцевых руд Западного Атасу (Центральный Казахстан) – Алма-Ата, 1974
5. Кривовичев В. Г. Минералогический словарь – СПб., 2008
6. Рожнов А. А., Бузмаков Е. И. Железные руды месторождений Центрального Казахстана и методы их использования – М, 1970
7. Саранчина Г. М. Породообразующие минералы – СПб., 2000
8. Фролов В. Т. Литология – М., 1992